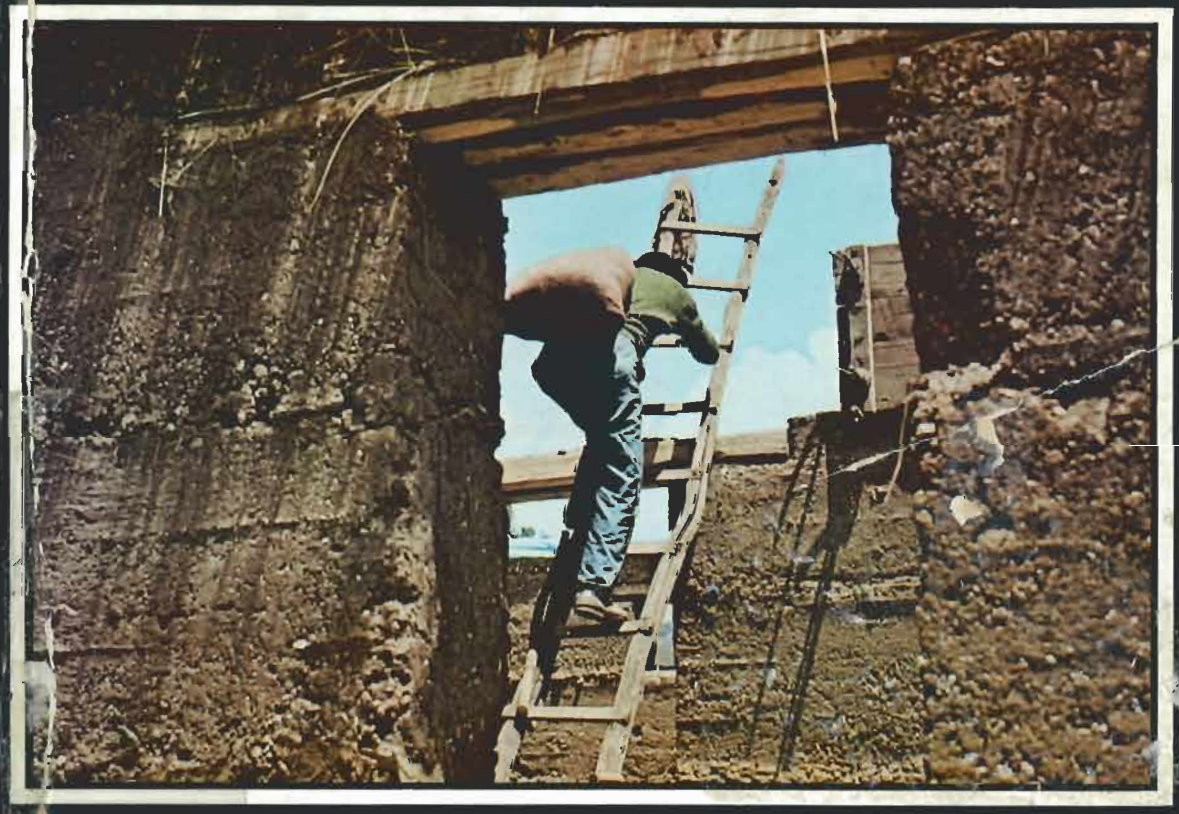
CONSTRUIRE EN TERRE

par le CRAterre,
P. Doat, A. Hays, H. Houben,
S. Matuk F. Vitoux



Alternative et Parallèles / collection AnArchitecture



CONSTRUIRE EN TERRE

La terre est un matériau de construction dont la publicité n'est plus à faire.
Et pourtant ! Malgré son utilisation en de nombreux points de notre planète
depuis l'époque préhistorique,
il semble aujourd'hui que ce matériau mérite une certaine réhabilitation.
Il fut victime d'une part
de la dépréciation générale subie par les architectures mineures
et, d'autre part de son caractère instable.
L'architecture était de pierre, faite pour l'éternité, ou n'était pas.
Mais le doute a fait place aux certitudes théoriciennes,
l'architecture cherche à se démocratiser,
et l'économie préside à nouveau au choix.

Alors, la terre, abondante, malléable, facile à mettre en œuvre,
plastique et offrant une grande inertie thermique
capte les regards des spécialistes.
On assiste au transfert des connaissances des artisans,
d'ouvriers oubliant les techniques transmises depuis des millénaires,
au profit de spécialistes qui tentent d'enregistrer
les témoignages encore vivants de savoir-faire ancestraux.
Après avoir méprisé ces techniques modestes et ces savoir-faire,
les architectes, les remettant à l'honneur,
les auréolent de la connaissance scientifique
et les soumettent à l'expérimentation.
Juste retour des choses,
mais cette revalorisation sera-t-elle suffisante ?
Leur image leur est renvoyé
et les architectes se heurtent maintenant au mépris du public,
la terre est mal admise ou plus admise du tout.

Le travail de justification sera long,
il faudra beaucoup expérimenter et il faudra convaincre.

Les qualités architecturales des constructions vernaculaires
devront être retrouvées,
les exemples ne manquent pas dans le Sud-Ouest de l'Amérique du Nord,
chez les Indiens que l'on a massacrés,
en Afrique du Nord, aux confins du Sahara ou en Afrique Occidentale
dans des pays qui sortent difficilement du colonialisme culturel,
au Moyen-Orient où la manne pétrolière
risque de condamner pour un temps des techniques modestes,
en Chine enfin où pour « construire » on utilise encore
le mot qui désigne le procédé de battage de la terre du pisé.

Patiemment, modestement, une équipe de Grenoble,
d'abord étudiants de l'Ecole d'Architecture,
architectes aujourd'hui, enseignants et chercheurs,
amasse depuis de nombreuses années des informations, multiplie les enquêtes,
dispense des conseils et tente des expériences à Vignieu dans l'Isère,
en Afrique et en Amérique Latine.
Elle livre ici le fruit de ses expériences, ses tâtonnements,
ses essais, ses tests, l'accumulation d'un savoir appris sur les chantiers,
les recettes et tuyaux
qui serviront à tous ceux qui veulent mettre la main à la pâte.
Réhabilitation technique en attendant que nous soient fournis
des exemples architecturaux utilisant
toutes les qualités plastiques et énergétiques du matériau.

Pierre Clément

Juin 1979

Ce livre est une œuvre collective réalisée par le

CRATerre
CENTRE DE RECHERCHE
ET D'APPLICATION - TERRE

(Voir présentation page 264)



DE GAUCHE A DROITE : SILVIA, HUGO, ALAIN, PATRICE ET FRANÇOIS

DOAT Patrice – Architecte – France
HAYS Alain – Architecte – France
HOUBEN Hugo – Ingénieur – Belgique
MATUK Silvia – Architecte – Pérou
VITOUX François – Architecte – France

Avec la collaboration de :

DAYRE Michel – Ingénieur – France
IRIGM – Institut de Recherche Interdisciplinaire de Géologie et de Mécanique. Grenoble.
Participation aux chapitres Analyse des Sols et Stabilisation.
SABATIER Nathalie – Ethnologue – France
l'ADETEN – Association pour le Développement et l'Expérimentation des Techniques et Energies Nouvelles.
l'UPAG – Unité Pédagogique d'Architecture de Grenoble.
l'ADAUA – Association pour le Développement Naturel d'une Architecture et d'un Urbanisme Africains.

La correction de cet ouvrage a été confiée à :
RWEGERA Damien – Ethno-linguiste – Rwanda

Nous tenons ici à remercier tous ceux qui nous ont aidé à réaliser notre travail :
Gilles Garby – membre du GRET Paris – Soutien logistique
Hildegard Erhart – RFA – pour sa coopération active

Les membres de l'ADETEN pour leur collaboration :
Patrice Ambacher
Abdou et Sophie Ibnyahya
Guy Issanjou
Jean-François Lyon-Cæn
Jean-Philippe Denis
Luc Bazin
François Coutos-Thevenot
Guy Schneegans
Yann Leberre
Françoise du Boisberranger

Pour les documents - dessins - photos - textes :
Pierre Bonneviale
Geneviève Bellon
Charles Boyer de Bouillane
Philippe Durand
Suzanne et Max Hirschi
Dirk Belmans
Bijan Rafii
Ignès Brito
Jacques Debiesse
Adolfo Saloma
Oscar Concha Bustamente
José Honores

Nous remercions également :
Raph Sallis
Pierre Saunier
Evelyne Grange
M. et Mme Aimone
Gilbert Béraldin
Hassan Fathy
François Philippe
Anne Monique Bardagot
Philip Langley
et l'équipe des joyeux Palafittes

Et tout particulièrement la commune de Vignieu, André Grange, Monsieur et Madame Chabou, Pierre Barthélémy qui nous ont permis de réaliser des expériences sur le terrain, Monsieur Huguet – charpentier –, Albert et Marie pour leur amical témoignage.

introduction

Ce manuel a été réalisé collectivement par les membres du « CRAterre ». Chaque chapitre a fait l'objet de multiples discussions et critiques, et représente la synthèse de nos expériences personnelles. Ajoutons que ce travail nous a passionnés et toujours enrichis, tant au niveau de la connaissance d'un matériau, qu'à celui de la réflexion sur sa pratique.

Pour nous, bâtir en terre signifie : procurer aux populations défavorisées les moyens d'améliorer leur habitat, et aussi permettre que par le biais de ce matériau de construction très particulier, s'établissent des rapports différents, donnant à l'usager le contrôle de son cadre de vie. Il devient urgent, en effet, de répondre à la main-mise d'un certain « impérialisme » de la production du cadre bâti. Que cette réponse se fasse au niveau local ou national, comme dans certains pays du Tiers-Monde ou à l'échelle de l'individu, le problème est posé et les voies pour le résoudre peuvent se rencontrer sur bien des points.

A la base de ce manuel, se trouvent rassemblés un certain nombre d'expérimentations, d'enquêtes, de contacts et de documents. Nous nous sommes appuyés surtout sur les expériences auxquelles nous avons participé en France et en Algérie, sur des enquêtes réalisées en Dauphiné, Bresse et Auvergne, ainsi que dans des pays d'Europe, d'Afrique ou d'Amérique Latine, où des contacts ont été pris avec de nombreux organismes travaillant sur la construction en terre.

Compte tenu de l'absence presque totale en France de publications sur le sujet, il nous a paru nécessaire de présenter un maximum de possibilités. L'accent a donc été mis surtout sur le matériau et sa mise en œuvre. Nous tenions à ce que chacun puisse trouver dans ce livre les éléments de références indispensables pour pouvoir juger et élaborer des solutions adaptées à son environnement et à ses aspirations. C'est dans ce but que nous avons tenu à mêler des exemples de pays aussi différents que le Yémen, l'Allemagne ou le Pérou. Bien sûr, les solutions élaborées dans des contextes socio culturels et climatiques différents ne sont pas interchangeables, mais leur confrontation nous a semblé être un élément important pour susciter l'imagination et la recherche de possibilités originales.

VILLAGE DAUPHINOIS

Cliché Chollet



La terre est certainement un des matériaux de construction les plus anciens de l'histoire de l'humanité. Les civilisations Perses, Assyriennes, Egyptiennes et Babyloniennes l'ont utilisé en abondance, et les exemples qui nous restent aujourd'hui, montrent que les anciens n'hésitaient pas à l'employer dans des ouvrages parfois monumentaux : arche de Ctésiphon en Irak... et à y confier leurs biens les plus précieux pour l'éternité : pyramides et mastabas à Saggara en Egypte (1re dynastie). Moins connues sont les ruines de Chan-Chan au Pérou, la plus grande cité précolombienne d'Amérique du Sud ; elle couvrait en effet une surface de 14 km^2.

L'architecture de terre n'est pas seulement une curiosité archéologique, puisqu'on estime qu'aujourd'hui la moitié de la population du globe habite des maisons en terre.

Ce matériau reste prépondérant dans presque toute l'Afrique, le Moyen-Orient et l'Amérique Latine. C'est également une forme de l'habitat vernaculaire en Chine et en Inde. En Europe, bien que pratiquement oubliées maintenant, les constructions en terre restent une des données du paysage quotidien. On en rencontre en Suède, au Danemark, en Allemagne et dans les pays de l'Est, mais également en Grande-Bretagne et en Espagne. En France, sous des modes de mise en œuvre différents, les exemples sont nombreux :

- Pisé du Dauphiné, du Lyonnais, d'Auvergne, de Bretagne et de Beauce.
- Brique crue dans la vallée de la Garonne et en Ile-de-France.
- Torchis en Alsace, en Normandie, Picardie et Bresse.
- Bauge en Vendée et en Camargue, etc.

Aujourd'hui, dans les pays industrialisés, l'intérêt pour la terre se manifeste sous deux modes différents. Le premier, développé dans le Sud-Ouest des Etats-Unis, est issu d'une aspiration à un milieu plus « humain ». Le béton et les matières plastiques, synonymes de progrès, sont devenus les symboles d'une technologie froide et sans âme.

Toute la région du « South-West » (Nouveau Mexique, Arizona et Sud de la Californie) connaît à l'heure actuelle une mode grandissante de la construction en adobe (brique crue). On compte 28 fabricants d'adobe dans cette région, dont 15 au Nouveau-Mexique, plus une quantité de petits artisans. Cette architecture, héritière des traditions indiennes et espagnoles, présente un caractère régional unique aux Etats-Unis. Une récente enquête sur les représentations attachées à l'habitat en adobe (effectuée auprès de 20 familles de la classe économique « supérieure » – 25 000 $ annuel – de la région de Tucson, Arizona) dévoile la part affective liée à ce matériau :

« La maison est faite de murs vivants ; les gens sont contre l'artificiel, le plastique et le monde manufacturé, en regard de leur maison « naturelle sortie de terre ».

« L'adobe est un avec la nature. Les murs épais procurent une impression de sécurité. La maison d'adobe « recentre », elle crée un environnement en harmonie avec la région du Sud-Ouest ».

« La maison s'ajuste dans le contexte du désert : elle lui appartient ».

Cette référence au « naturel » n'est-elle qu'une mode passagère ou une réaction à l'incapacité de l'architecture conventionnelle à répondre aux exigences des habitants ?

Le second point d'intérêt pour la construction en terre est provoqué par la hausse croissante du coût de l'énergie, qui se répercute sur des produits comme le ciment et la brique cuite. Mc Killop a démontré que si l'énergie consommée par une brique cuite est de 2 Kw.h, une brique de même taille stabilisée au ciment, n'en consomme que 0,05. Les analyses récentes des « coûts écologiques » des procédés de construction faisant intervenir le « coût social » (entretien des réseaux de communications, services sociaux etc.) montrent que l'emploi des matériaux de construction les moins chers sur le marché (agglomérés de ciment) n'est peut-être pas, à long terme, la solution la plus intéressante.

La terre dans ce cadre, présente un intérêt écologique évident. La solution pourrait se trouver avec la brique stabilisée à froid. Cette dernière est issue des techniques de moulage de briquetterie classiques, mais la cuisson est remplacée par un compactage plus poussé et par l'apport de produits stabilisants (ciment, chaux, produits chimiques). On obtient par cette méthode des produits manufacturés et contrôlés par le fabricant, directement commercialisables. Des sociétés allemandes et danoises ont mis au point, à partir de presses pour briques silico-calcaires, des unités de production de briques stabilisées à froid, pouvant atteindre des capacités de 1500 briques à l'heure. On peut concevoir dans cette optique, de véritables manufactures mais également une production à caractère artisanal utilisant un matériel plus léger, petites presses hydrauliques ou mécaniques.

La technique de la construction en terre est actuellement suffisamment sûre pour concurrencer les matériaux classiques. Héritière d'une tradition populaire, elle possède les avantages d'une technologie simple. Demandant peu d'investissement en matériel, elle est adaptable. On peut envisager son application dans des cadres de production très différents : entreprise industrielle, artisanale, groupement coopératif d'habitants-constructeurs, autoconstruction en milieu rural, etc. Face à cette technologie aussi riche de promesses, on peut se demander s'il faut ajouter la brique compressée et le B.T.S. à la liste des matériaux nouveaux vendus sur le marché, ou s'il n'y a pas dans ce mode de construction la possibilité pour l'usager de contrôler la production de son cadre de vie.

Pour répondre à cette dernière condition, une technologie doit donc être en premier lieu « appropriable ». La technologie moderne échappe de plus en plus au contrôle de la population. Sophistiquée, donc coûteuse et délicate, elle est devenue affaire de spécialistes. Ces derniers, pris au piège de leur propre avance , et soucieux de conserver un certain pouvoir ou tout au moins de justifier leur rôle dans la société, se sont progressivement assuré, par le biais des normes, règlements et spécifications une sorte de monopole de la technologie et de ses applications les plus quotidiennes. La construction des maisons par exemple, qui dans la société traditionnelle était une des données du savoir-faire commun est devenue aujourd'hui une science de professionnels, devant lesquels l'usager se trouve désarmé.

Il doit donc y avoir ré-appropriation par le groupe humain des connaissances techniques dont il a besoin pour son développement. Une technique même simple, si elle n'est pas « appropriée » par le groupe, qui l'aura faite véritablement sienne demeurera inadéquate. Cela est d'autant plus flagrant pour les technologies occidentales plaquées sur un milieu peu apte à les recevoir, comme cela est souvent le cas dans les pays du Tiers-Monde ; celles-ci n'ont alors pour seul résultat que de déstructurer et de perturber un peu plus ces cultures souvent encore à la recherche de leur identité.

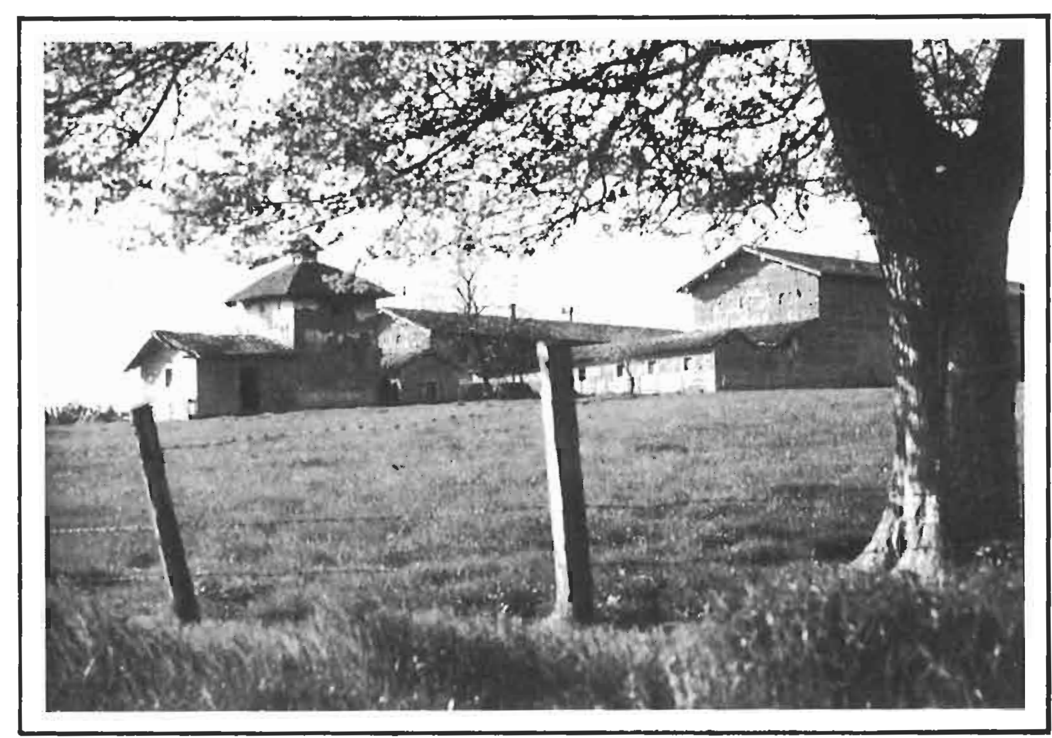
Une des caractéristiques de la construction en terre est la grande variété de ses mises en œuvre. En se limitant aux seuls exemples rencontrés en France, on trouve : le pisé, le torchis, la brique crue, la bauge ; et, à chaque fois, des types de construction entièrement différents.

Nous présentons ici, les techniques du pisé, le banché coulé, le façonnage direct, l'adobe (ou brique crue), les briques compressées, ainsi que les techniques « mixtes » combinant la terre avec un autre matériau (fibres végétales ou bois). Ce sont les procédés les plus connus et les plus répandus dans le monde. Nous ne parlons pas de la brique cuite, de la terre armée, de l'habitat excarié ou troglodytique, ni des techniques trop particulières du découpage des briques dans le sol, du « sod » (mottes de gazon découpées) ou de la terre projetée.

Le tableau **(fig. 2)** regroupe les mises en œuvre de la terre, selon « l'état » du matériau lors de son utilisation : état solide, plastique, liquide ou sec. Si la terre, une fois sèche, présente à peu près les mêmes caractéristiques physiques, quelle que soit la façon dont elle a été utilisée, le degré d'humidité ou de plasticité du matériau influe fortement sur la mise en œuvre. Les techniques de moulage d'une terre humide ou d'une terre sèche sont entièrement différentes, le temps de séchage varie énormément, etc. Le tableau fait donc apparaître pour le constructeur la possibilité d'adapter le matériau en jouant en particulier sur sa teneur en eau.

FIGURE 2

	État	Procédé	Mise en œuvre	Technique
Terre non remaniée	Etat solide		● TERRE EXCAVEE →	Habitat troglodytique
			● MOTTES DE GAZON DECOUPEES →	Sod
			● TERRE DECOUPEE →	Blocs découpés en carrière
Terre remaniée	Etat liquide	COULAGE	● TERRE COULEE DANS UN COFFRAGE → Mur monolithe	Banché coulé
			● TERRE COULEE DANS UN MOULE → Briques	Adobe
	Etat plastique	PETRISSAGE	● TERRE MOULEE → Briques	Adobe
			● TERRE FAÇONNEE → Briques	Adobe
			● TERRE FAÇONNEE EN PLACE → Mur monolithe "au colombin"	Façonnage direct
			● TERRE EMPILEE EN PLACE → Mur monolithe	Bauge
			● TERRE FACONNEE SUR ARMATURE → Mur composite	Torchis
	Etat sec	COMPACTAGE	● TERRE COMPACTEE DANS UNE BANCHE → Mur monolithe	Pisé
			● TERRE COMPACTEE DANS UN MOULE → Blocs	Blocs damés
			● TERRE COMPRESSEE → Briques	Briques compressées



CRATerre

FERME BRESSANNE

1. LE PISÉ

La construction en pisé est un procédé de mise en œuvre de la terre qui a été et reste encore employé dans des pays aussi différents que le Danemark, le Maroc, le Pérou, ou la Chine... En France, on remarque de nombreuses maisons en terre, aux volumes souvent imposants, notamment dans le Dauphiné, le Lyonnais, l'Auvergne et la Bretagne. Actuellement, il est de plus en plus difficile de distinguer ces maisons de construction récente, car la plupart présentent un extérieur enduit. Celui-ci les fait ressembler à leurs sœurs de pierre, en qui tous voient un défi à l'érosion du temps. L'habitat en pisé, lui aussi, résiste aux années. Parfois, vieux de trois cents ans, des murs de terre abritent encore une partie de la population rurale.

Nous expliquons en détail des différentes phases de cette technique de construction à partir de documents anciens. Certains nous ont fourni des études assez détaillées sur la mise en œuvre du pisé ; nous utilisons des extraits de : Goiffon, « L'art du maçon piseur » (1772) et de Cointereaux, « Les cahiers de l'Ecole d'Architecture Rurale » (1790). Ces auteurs influencèrent, en leur temps, des pays comme l'Allemagne et même le Danemark, oú l'on construisit, grâce à cette technique, plus de deux mille fermes entre 1800 et 1870, ainsi que le haras du château royal de Frederiksberg (L = 89 m, l = 15 m, h = 6,50 m). Si l'on en croit Goiffon, l'origine du pisé remonte aux anciens Romains et s'est transmise de génération en génération dans le Lyonnais et dans les provinces voisines.

I – LE PISE TRADITIONNEL

« Le pisé est un procédé d'après lequel on construit les maisons avec de la terre, sans la soutenir par aucune pièce de bois, et sans mélange de paille, ni de bourre. Il consiste à battre, lit par lit, entre des planches, à l'épaisseur ordinaire des murs de moellons, de la terre préparée à cet effet. Ainsi battue, elle se lie, prend de la consistance, et forme une masse homogène qui peut être élevée à toutes les hauteurs données pour les habitations ».

Cointereaux

La terre utilisée est directement extraite du sol. Trop sèche pour avoir suffisamment de cohésion, elle a besoin d'être damée.

D'après les textes de Cointeraux, l'Abbé Rosier, et Rondelet on peut relever quelques observations relatives à la construction en pisé. Celle-ci présente à leurs yeux de nombreux avantages :
- Rapidité de la construction.
- Coût minime.
- Economie de bois.
- Isolation thermique.
- Transformation en engrais à la démolition.
- Résistance à l'incendie.
- Solidité et durabilité.

« Lorsque les murs en pisé sont bien faits, ils ne forment qu'une seule pièce, et lorsqu'ils sont revêtus à l'extérieur d'un bon enduit, ils peuvent durer des siècles. En 1764, je fus chargé de restaurer un ancien château dans le département de l'Ain. Il était bâti en pisé depuis plus de 150 ans. Les murs avaient acquis une dureté et une consistance égales aux pierres tendres de moyenne qualité, telles que la pierre de St-Leu. On fut obligé, pour agrandir les ouvertures et faire de nouveaux percements, de se servir de marteaux à pointe et à taillant, comme pour la pierre de taille ».

(J. Rondelet, réf. 24)

LES OUTILS

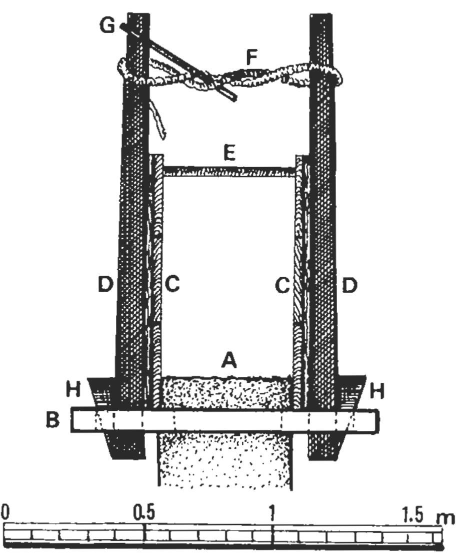
Les outils présentés **(fig.7)** ont été utilisés pendant plus de deux siècles dans le Lyonnais et l'Auvergne. Nous décrirons d'autres outils provenant de régions ou pays différents afin de mieux saisir les variations de mise en œuvre de cette technique.

La banche (fig. 8 et 9)

Pour un côté de la banche, dont la hauteur est de 90 cm, il faut 3 ou 4 planches droites, en bois sec (avec le moins de nœuds possible) d'une épaisseur approximative de 3 cm, d'une longueur de 3,25 m et d'une largeur de 30 cm environ. Afin d'obtenir un parement lisse à l'intérieur et d'empêcher les mottes de terre d'adhérer aux planches, celles-ci sont rabottées. Après quoi elles sont assemblées par quatre montants, ou barres, de 27 cm de large pour celles des extrémités et de 21 cm pour les autres.

Dimensions optimales proposées par Goiffon :
longueur : 2,60 m (mini : 1,60 ; maxi : 4,20 m)
hauteur : 80 cm. Ainsi la banche n'est pas trop lourde à manipuler, et facilement enjambable par les piseurs.

FIGURE 8 : BANCHE LYONNAISE



A – mur en pisé de 48,6 cm d'épaisseur – B – clé posée dans une tranchée en travers du mur – C – panneaux de banches. Elles embrassent l'assise précédente du mur sur une hauteur de 8 cm – D – poteaux dont les tenons entrent dans les mortaises de la clé – E – gros du mur. Petit bois qui fixe l'écartement de la banche en partie supérieure. Sa longueur est, dans cet exemple, inférieure de 13 mm à la largeur de la base de la banchée, afin de créer un "fruit" ou talus du mur – F – corde d'environ 1 cm de diamètre liant les poteaux – G – bâton ou bille qui bride la corde à volonté et vient s'arrêter contre un poteau – H – coins enfoncés dans les mortaises de la clé, ils serrent par le bas les poteaux et les panneaux de la banche.

CRATerre d'après Cointeraux

FIGURE 7

Les Outils du Piseur

Poteaux

Coin

Aiguilles

Canon

Pelle

Pioche

Panier d'Osier

Pisoir

Sergent

Clefs

ou Lassoniers

Banche

Tête

D'après J. Rondelet

CRATerre d'après Rondelet

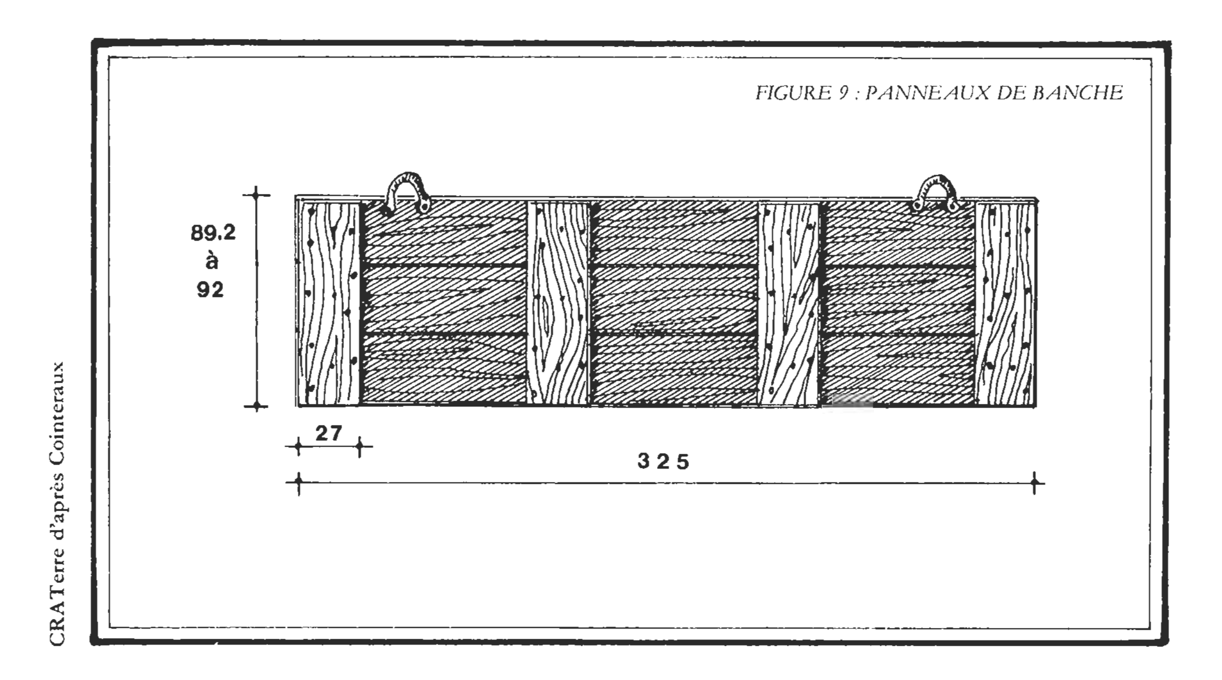


FIGURE 9 : PANNEAUX DE BANCHE

Les planches sont assemblées par rainure et languette. Pour manier plus commodément les banches, on utilise des poignées de fer nommées « manettes ».
En Auvergne, dans la région du Puy-de-Dôme, les banches sont d'un type un peu différent.
– Les clés sont taillées dans des chevrons et sont légèrement côniques pour faciliter leur extraction du mur **(fig. 10)**.

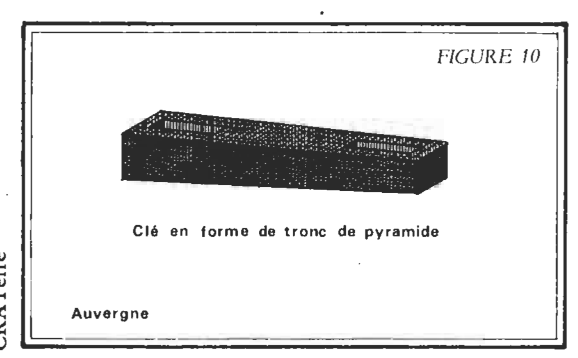


FIGURE 10

– On utilise des « jougs » **(fig. 11)** pour tenir les montants dans leurs parties supérieures. Ces jougs ne sont généralement pas côniques, mais une clé peut servir de joug alors que l'inverse est impossible.
– On ajoute au « gros du mur » ou badaillon des « renvois », c'est-à-dire des morceaux de bois un peu plus longs que ceux placés obliquement entre les montants. Ils servent à corriger la verticalité des banches à l'aide du fil à plomb fixé au joug et qu'on laisse pendre le long d'une banche du côté interne. Le renvoi donne de la rigidité au rectangle formé par la clé, les deux montants et le joug, afin qu'il ne se déforme pas.

Le fond de banche

Ou closoir ou tête de moule **(fig. 12)**, dont chaque « tête » est formée de deux planches assemblées à l'extérieur par deux planchettes « barres ». Les têtes plus larges en bas qu'en haut permettent de donner du fruit au mur.

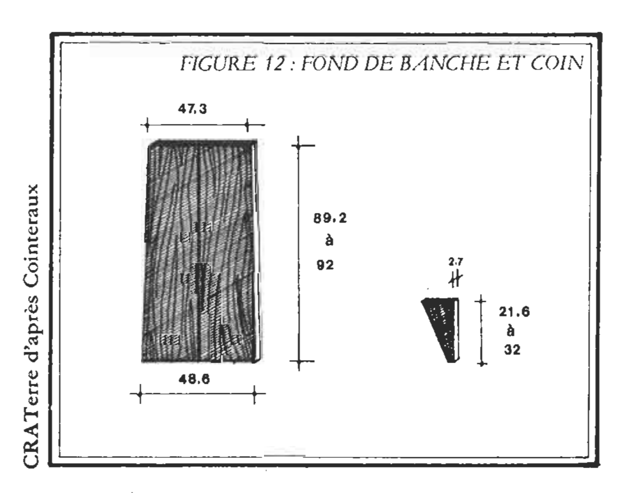
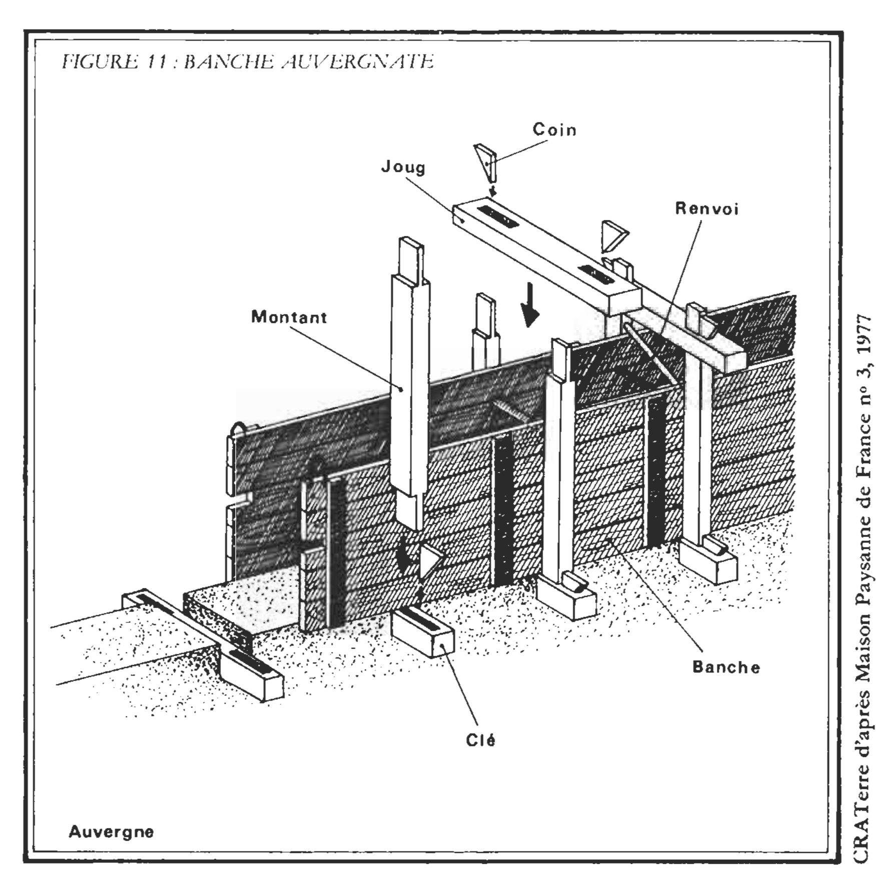


FIGURE 12 : FOND DE BANCHE ET COIN

Les poteaux

Ou aiguilles **(fig. 13)** sont faits en bois de sciage équarri, en soliveaux ou en chevrons, les poteaux d'une hauteur de 1,62 m dépassent le dessus des banches de 50 cm au moins. Dimensions indiquées par Goiffon : hauteur des poteaux : 1,14 m, épaisseur : 5,4 cm. Les poteaux se terminent par un tenon de 2,7 cm d'épaisseur.



CRATerre d'après Maison Paysanne de France n° 3, 1977

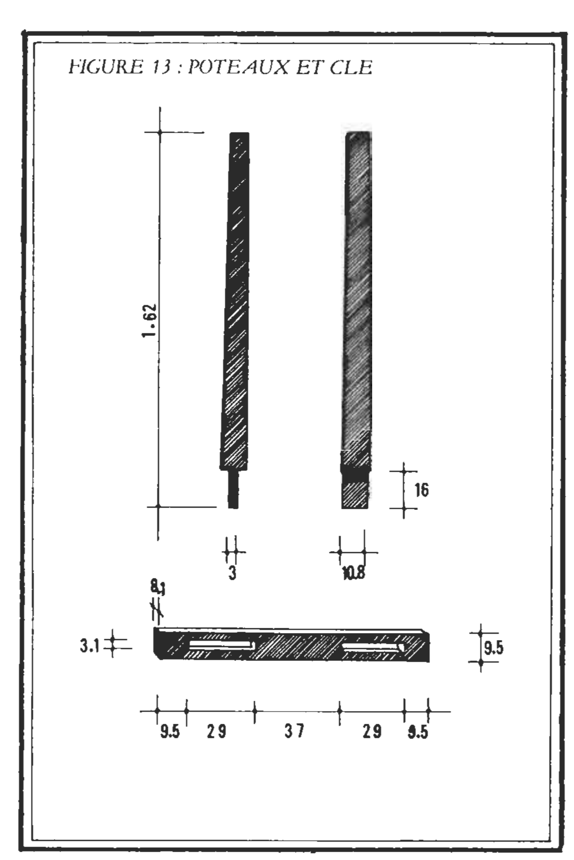
Les clés

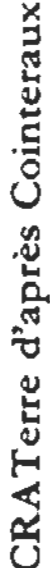
Ou lançonniers **(fig. 13)** sont faites de bois dur (chêne, frêne...) et ont une épaisseur de 8 cm, une largeur de 9,5 cm et une longueur de 1,14 m. A 9 cm des extrémités de la clé, on taille des mortaises de 20 cm sur 3 cm. Pour une banche de 2,60 m, Goiffon propose 4 lançonniers, espacés de 80 cm, et précise que les mortaises doivent comporter un pan oblique du même angle que le coin **(fig. 14)**.

Les coins

Les coins enfoncés dans les clés servent à serrer les poteaux et les panneaux sur l'assise du mur déjà faite. Leur rôle est important en ce qui concerne l'aplomb de la banche, et leur côté en contact avec les poteaux doit être bien vertical. Leur pente, d'autre part, doit être suffisamment faible pour assurer un bon coincement, et la mortaise est souvent taillée à la même pente que le coin.

Enfoncés plus ou moins profondément ils règlent l'épaisseur du mur. Par exemple sur une clé comportant deux mortaises de 19 cm espacées de 43 cm, si les coins mesurent 11 cm de large et 43 cm de haut, les poteaux 8 cm et les panneaux 2,5 cm d'épais-





seur, on aura une épaisseur minimum de 38 cm lorsque les coins seront enfoncés au maximum dans les mortaises **(fig. 14a)**.

Si l'on enfonce les coins au minimum on obtient une épaisseur maximum des murs (54 cm dans l'exemple) **(fig. 14 b)**. Afin de maintenir un même enfoncement des coins on les perce d'un trou juste au-dessus de la clé et l'on introduit une petite goupille. Si l'on désire monter un mur avec fruit, c'est-à-dire avec la face extérieure oblique, (ceci afin de le rétrécir vers le haut, comme cela était très courant dans les bâtiments en pisé), il est utile d'insérer un petit coin supplémentaire entre le coin proprement dit et le poteau extérieur. On nomme celui-ci « fixe fruit » **(fig. 14 c)**. L'inclinaison de la face externe du mur dépend des dimensions de ce coin. On utilisait en guise de fixe fruit une cale de bois triangulaire, dont la pente était de 5 mm par 32,5 cm de hauteur.

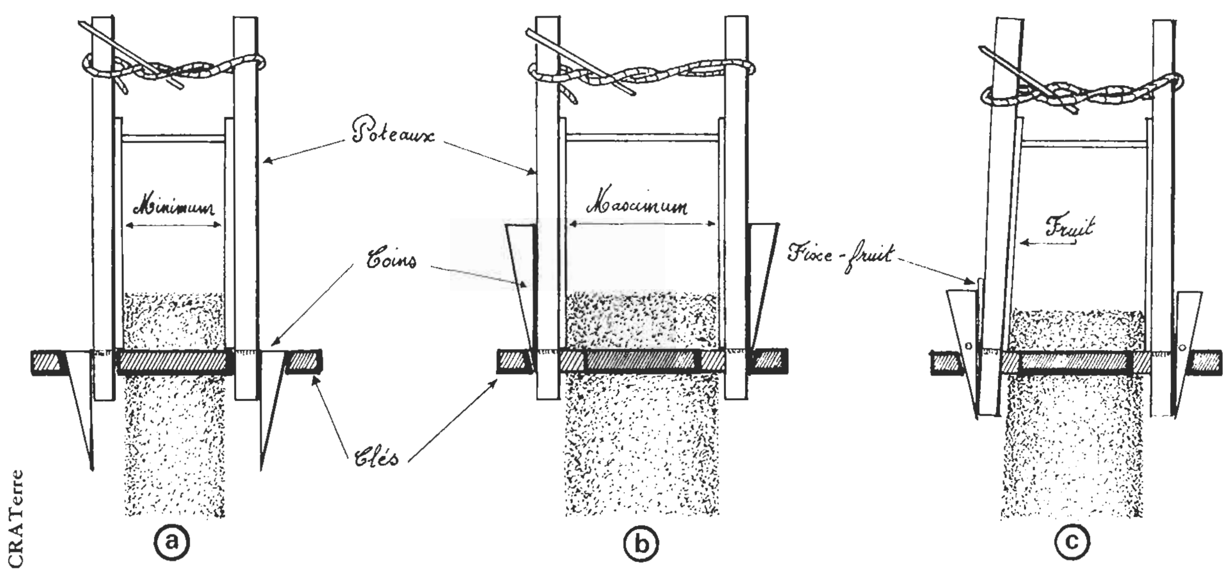


FIGURE 14 : (a) et (b) L'ECARTEMENT DES BANCHES VARIE EN FONCTION DE L'ENFONCEMENT DES COINS – (c) MANIERE DE MONTER LE FRUIT DU MUR

LA TERRE

Choix

Toute terre ne convient pas pour la construction en pisé. On estime que la meilleure terre doit se composer de :
- Gravier : 0 à 15 %
- Sable : 40 à 50 %
- Limon : 35 à 20 %
- Argile : 15 à 25 %

Comme le rapportent d'anciens piseurs de la région d'Izeaux, on choisit une terre « rouge », non organique, pas trop humide, et, on construit de préférence au printemps, quand la terre « travaille » ou « monte en sève ».

Extraction et préparation

D'après Cointeraux il s'agit :

« de piocher dans le sol, casser les mottes avec la tête de la pioche ou avec les pelles pour bien diviser la terre. Puis, de la relever en tas, ce qui est essentiel, parce que les ouvriers jettent toujours leurs pelletées vers le dessus du tas, obligeant toutes les petites mottes ou grumeaux, les grosses pierres et cailloux à rouler au bas du tas. On les retire aisément à l'aide d'un râteau qui ne prend que les cailloux d'une grosseur supérieure à une noix.

On ne prépare de terre ainsi amoncelée que ce que les maçons piseurs peuvent employer dans la journée, et si le temps menace de pluie, il faut avoir près de soi quelques planches, paillassons ou mauvaises toiles pour couvrir le morceau, afin que la pluie ne mouille pas la terre. En effet, on ne peut se servir de la terre que lorsqu'elle n'est ni sèche ni mouillée. Il est impossible de piser la terre trempée par la pluie ; par les grandes sècheresses, on a la ressource d'humecter la terre au degré que l'on souhaite avec un arrosoir.

On doit exclure tous les végétaux du pisé : racines, herbages brins de paille, de foin, copeaux de bois (...) qui peuvent pourrir (...) ».

VUE DU CHANTIER

(Vue Axonométrique)

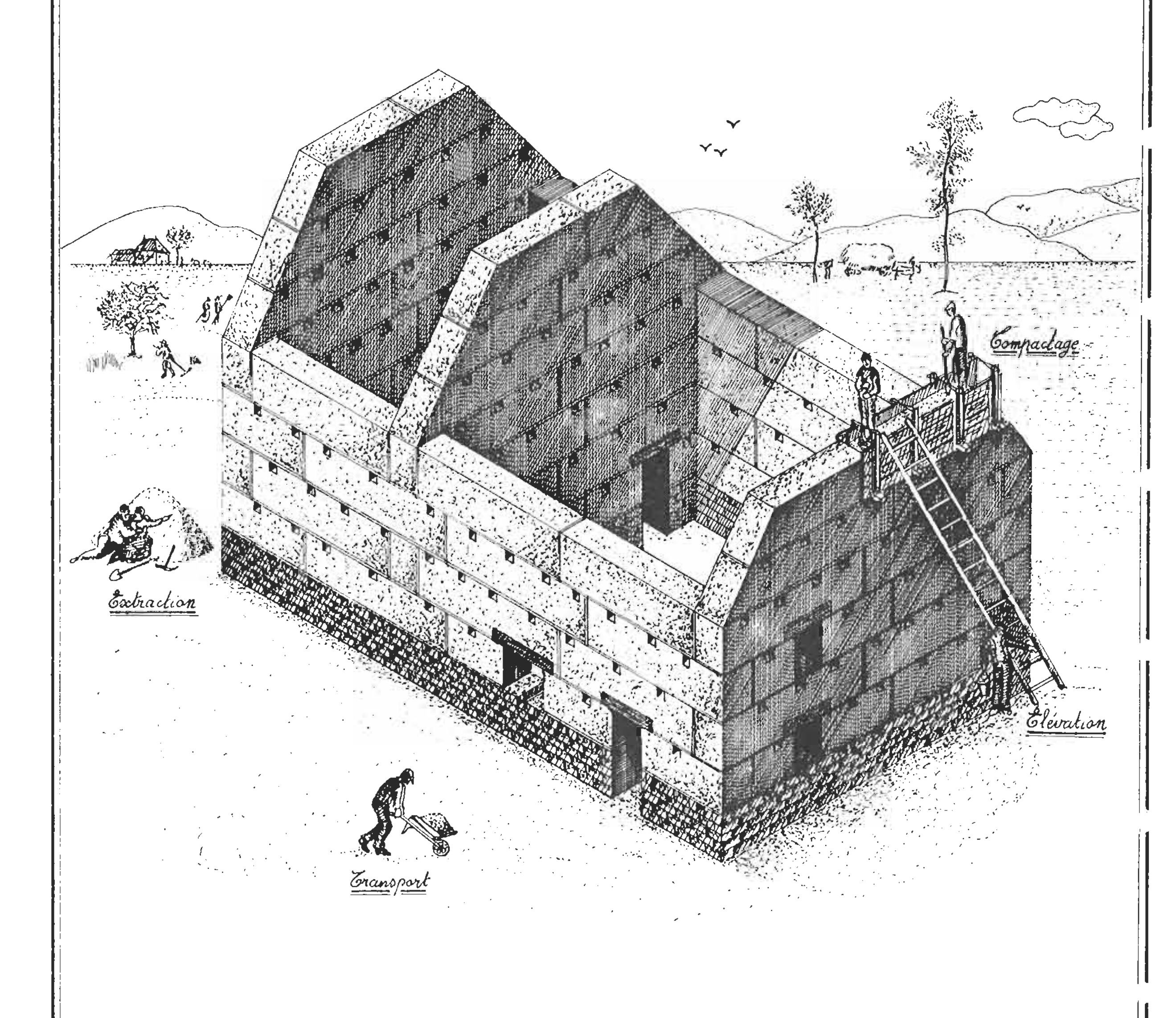
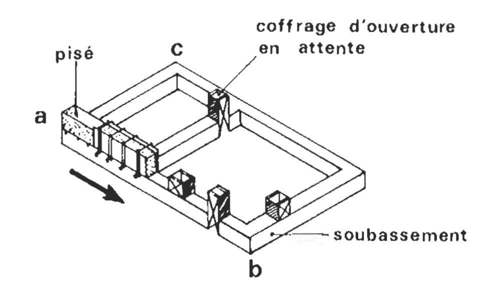


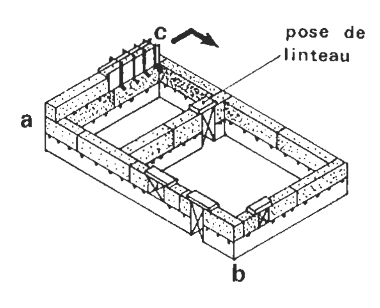
FIGURE 16

Où l'on voit s'élever une maison en Pisé



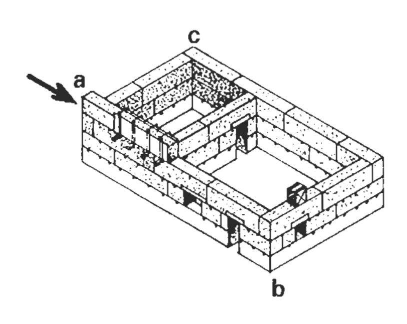
1ère ASSISE

sens de la banchée en **ab**



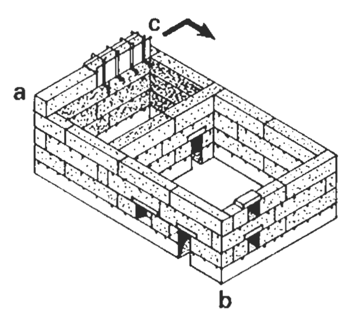
2ème ASSISE

sens de la banchée en **ac**



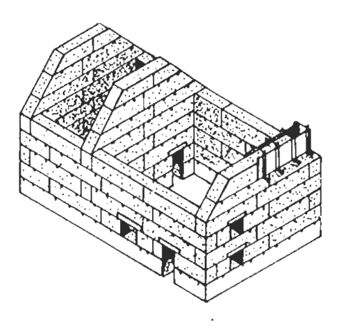
3ème ASSISE

sens de la banchée en **ab**



4ème ASSISE etc...

sens de la banchée en **ac**



ELEVATION DES PIGNONS

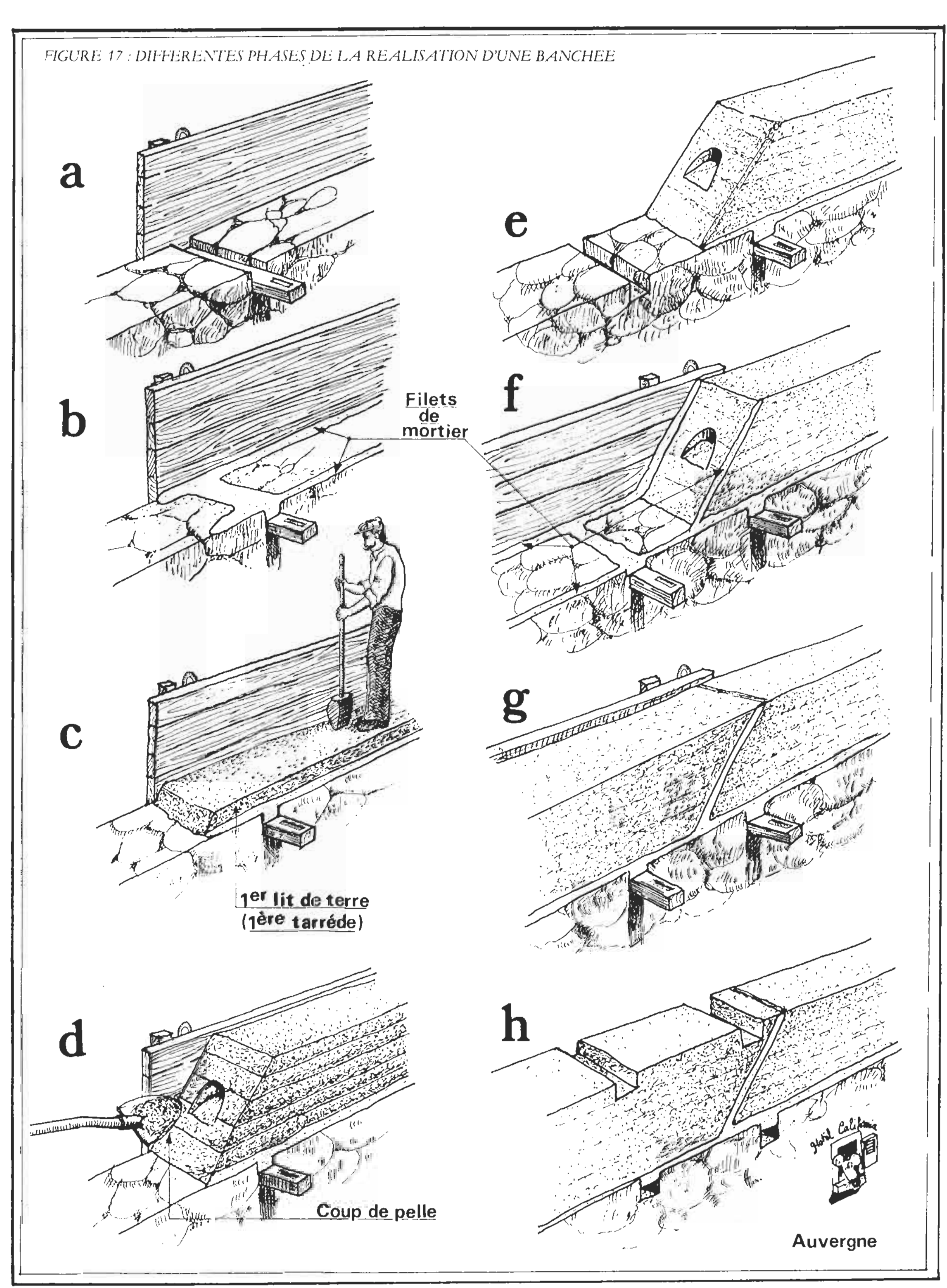


FIGURE 17 : DIFFERENTES PHASES DE LA REALISATION D'UNE BANCHEE

ÉLÉVATION DES MURS

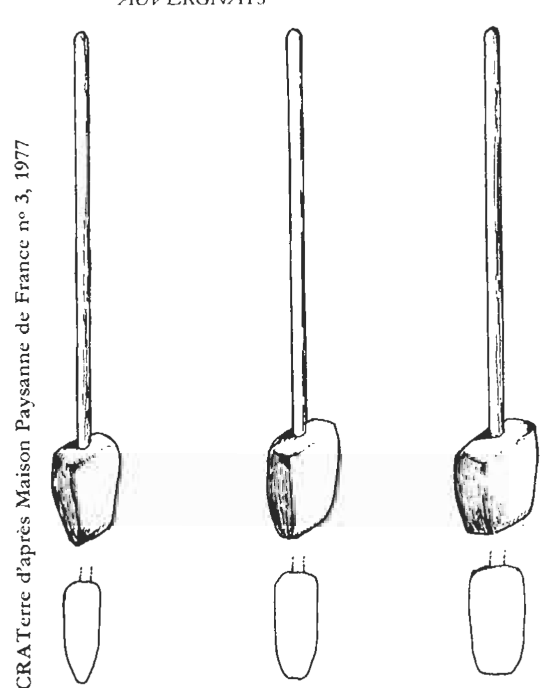
Méthodes lyonnaise et auvergnate

Pour élever les murs **(fig. 17)**, il faut d'abord niveler les soubassements, et tracer (avec de la pierre noire ou rouge) les tranchées destinées à recevoir les clés (leurs distances doivent être de 0,97 cm d'axe en axe). Puis, maçonner entre les clés, sur 16 cm de hauteur en plus du mur, ce qui porte le soubassement à environ 80 cm de haut. Sur cette maçonnerie fraîche, installer la banche à partir d'un angle de la maison. Ensuite, bien serrer les coins et les poteaux avec les liages de corde, et poser la tête du moule contre l'angle.

– Avant de mettre la terre, étendre un glacis de mortier, uniquement, sur le pourtour de l'encaissement, et couvrir de quelques pierres minces les tranchées où sont les clés. Ce glacis empêche la première terre, jetée dans la banche, de couler dans les joints, et ainsi permet leur bonne finition.

– Monter dans la banche pour damer l'angle, et de temps en temps vérifier l'aplomb du mur à l'aide du fil. Porter la terre dans la banche, l'étendre avec les pieds, la comprimer avec le pisoir sur une épaisseur de 8 à 10 cm. Après avoir suivi le pourtour du mur, croiser les coups afin de presser la terre en tous sens. Sous les liages des cordes, coordonner les coups des pisoirs, car cet endroit

FIGURE 18 : LES TROIS PISOIRS AUVERGNATS



CRATerre d'après Maison Paysanne de France n° 3, 1977

est difficile à atteindre verticalement. A chaque couche (de 16 cm) poser, à l'angle contre la tête du moule, un petit glacis de mortier, afin de renforcer l'angle.

Manipulation du pisoir. Les piseurs de la région du Puy-de-Dome utilisent trois formes de pisoir, **(fig. 18)** en voici l'explication :
Les piseurs sont en effet au nombre de trois. Ils effectuent les opérations suivantes plusieurs fois de suite, à savoir : **(fig. 19)**

- Coups de pisoir longitudinaux le long des panneaux de banche.
- Coups de pisoir obliques en « arêtes de poisson » à l'intérieur des banches.

FIGURE 19 : FAÇON DE PISER AUVERGNATE : ORDRE DES COUPS DE PISOIR



CRATerre

Le premier piseur est celui qui utilise le pisoir le plus pointu. Il coupe la terre plus qu'il ne la tasse. Il doit atteindre à chaque fois la couche inférieure avec la pointe de son pisoir, ceci pour assurer une bonne cohésion entre les couches de terre. Les deuxième et troisième piseurs agissent eux par tassement de la terre.

Une fois la première couche bien battue, recommencer cette opération couche par couche, jusqu'à ce que le moule soit plein. Démonter immédiatement l'encaissement.

Replacer la banche de telle manière qu'elle recouvre l'extrémité inclinée de la banchée précédente. Ce qui lui assure un bon maintien. Avant de commencer à remplir la banche, former un joint de mortier pour améliorer la liaison avec la partie déjà damée. Continuer ainsi de suite, et faire le tour de la maison. La première assise est, alors, suffisamment résistante pour supporter le poids des piseurs et la superposition d'une autre banchée. Dans le mur déjà cons-

truit et avant d'installer la banche, creuser des tranchées correspondant aux clés. Décaler les trous des clés une assise sur deux pour éviter la formation de fissures verticales **(fig. 21)**.

FIGURE 21 : BANCHÉES AVEC JOINTS OBLIQUES

≈ 50 cm

Petite Pioche tranchante préconisée par Cointeraux pour exécuter ces réservations.

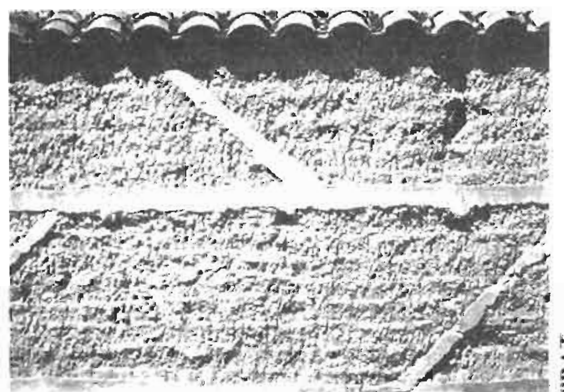
16·2

97.

CRATerre

Joints verticaux et joints obliques

On remarque sur les bâtiments en pisé deux variantes de joints entre deux banchées d'une même assise **(fig. 22-23)** : certains sont verticaux d'autres obliques. Les joints verticaux obligent à poser un fond de banche à chaque banchée, la banche est



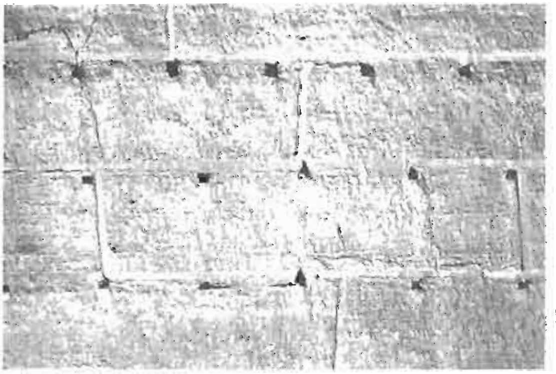
CRATerre

FIGURE 22

ainsi plus rigide et la surface du mur réalisée en une fois plus importante. Les points obliques, en général à 45°, améliorent théoriquement la reprise de deux banchées. Ils sont excécutés en damant en biais. La banche n'a plus besoin de fond de banche et son montage s'en trouve facilité, mais damer un plan incliné n'est pas très aisé et le volume de mur d'une banchée est plus faible. Goiffon nous explique comment se damaient les joints obliques :

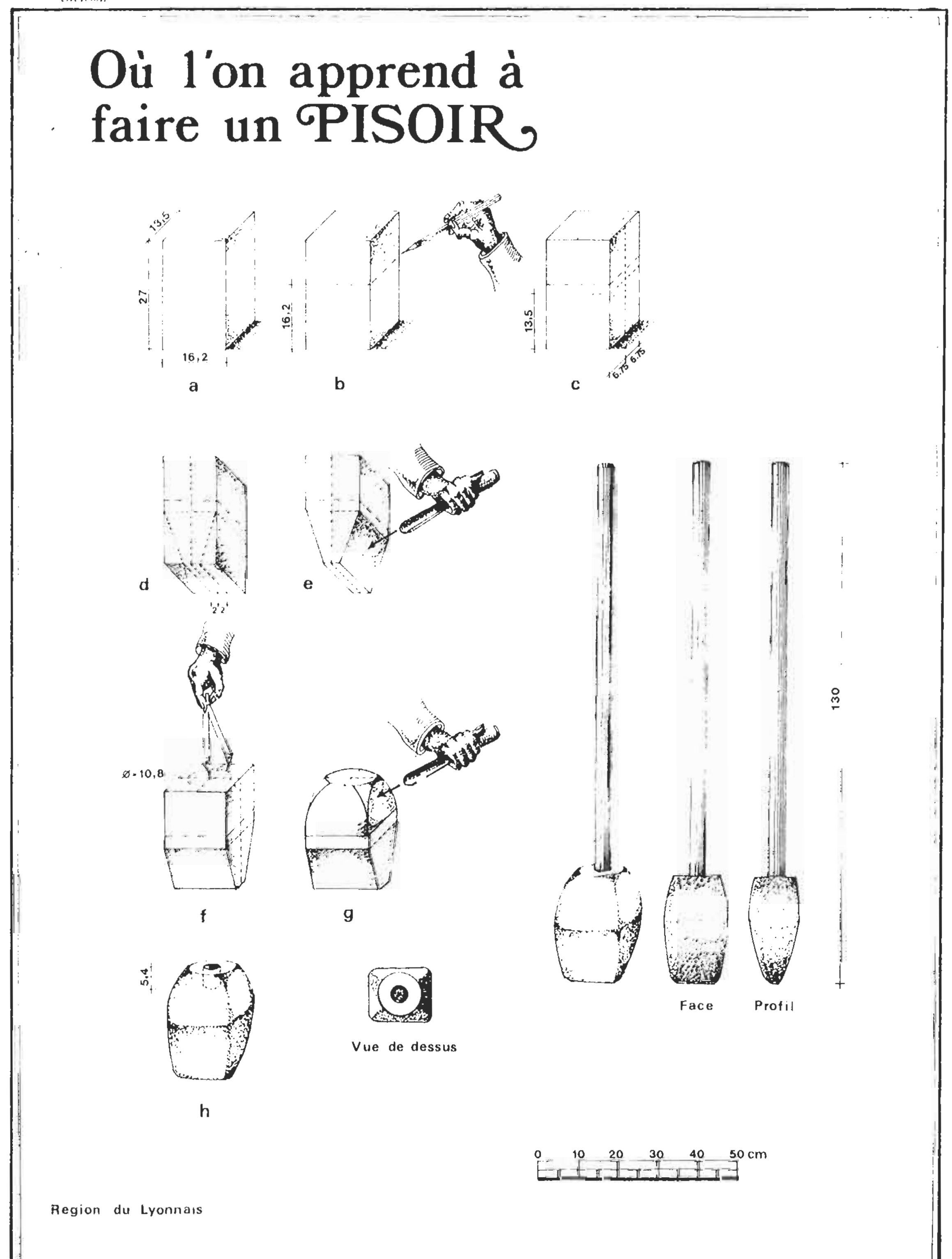
« (...) Chaque banchée se termine donc en un plan incliné ; or c'est l'œil du piseur qui le guide quand il le forme ; il voit sur les rives des banches, le mieux où il doit aboutir en montant. Il termine la longueur de ses lits, en conséquence de cette observation, et tant qu'il travaille sur ce plan incliné, il dirige son pison perpendiculairement à la ligne d'inclinaison qu'il s'est proposé; c'est dans ce cas qu'il frappe parfois des flancs de sa masse(...) »

FIGURE 23 : MUR BANCHÉ AVEC DES JOINTS VERTICAUX (BRESSE)



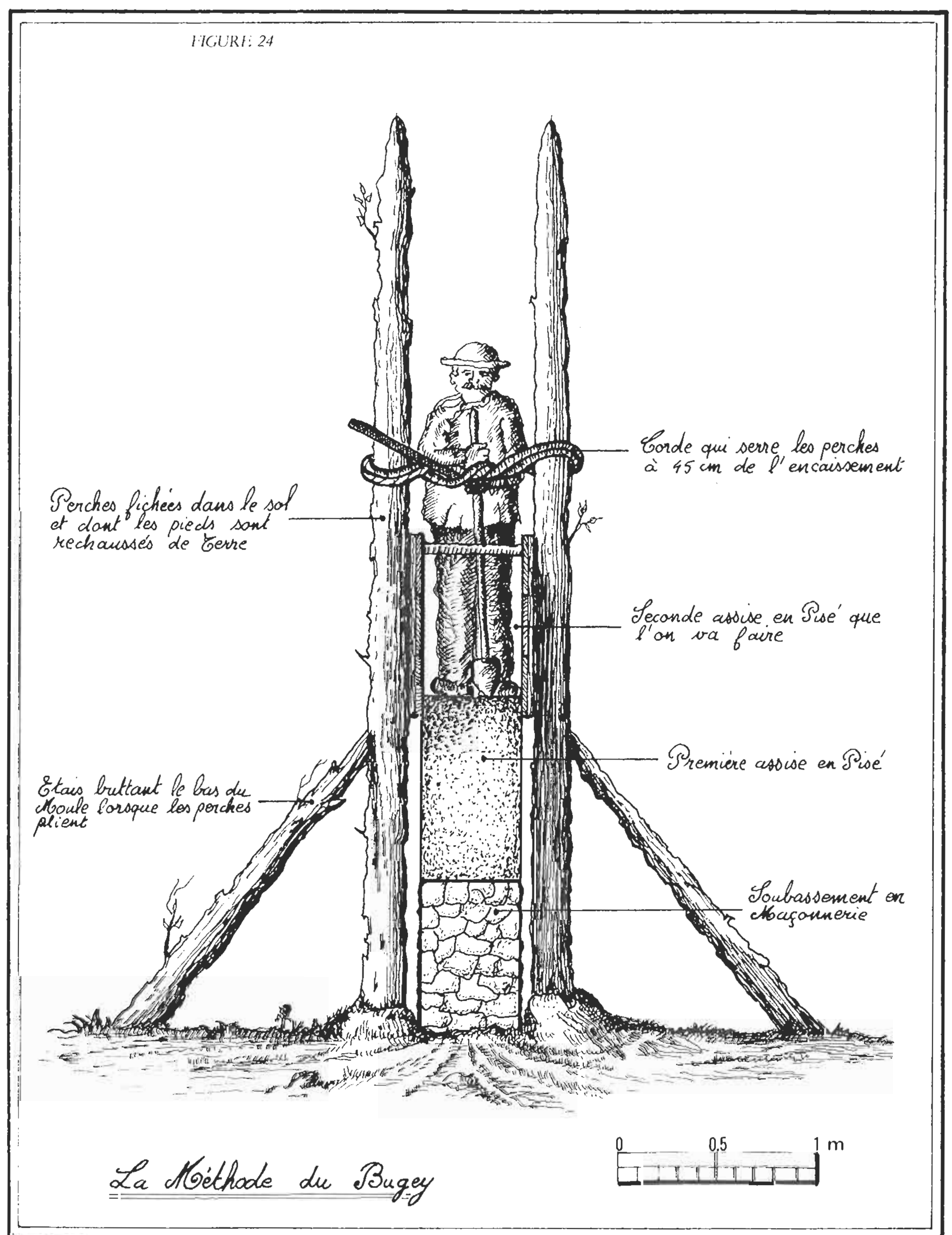
CRATerre

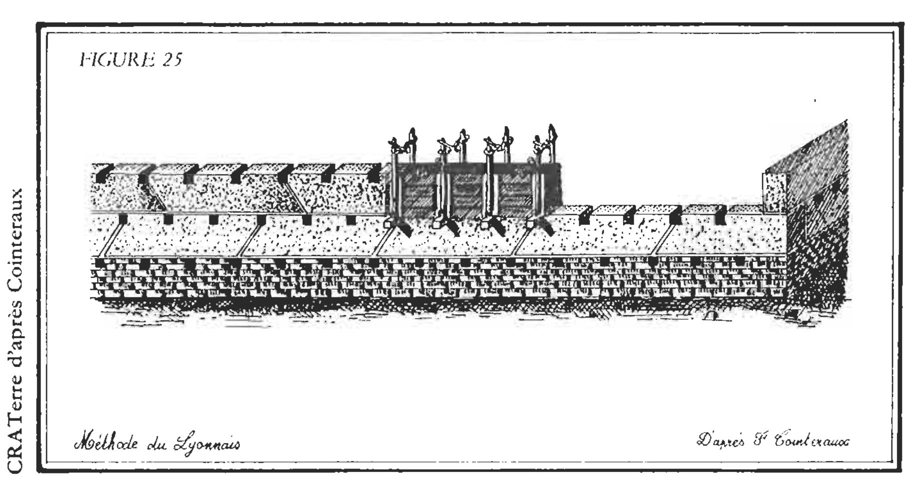
FIGURE 20 : Cette planche nous indique comment les paysans du Lyonnais taillaient un pisoir en bois – A – prendre un morceau de bois dur, le réduire et l'équarir à une épaisseur de 13 cm, une longueur de 27 cm et une largeur de 16 cm – B – tracer une ligne dans son pourtour à 16,2 cm de sa hauteur – C – diviser en deux les autres faces du morceau de bois et tirer partout des lignes qui les partageront également – D – tracer deux lignes sous celle du milieu, espacées de 4 cm – E – délarder le bois superflu de la ligne du pourtour. On obtient ainsi une sorte de coin – F – tracer sur le dessous, avec un compas un cercle de 10,8 cm de diametre – G – couper les coins supérieurs en raccordant le cercle du dessus à la ligne de pourtour. Abattre ensuite les arêtes en les arrondissant – H – polir le bois surtout en dessous et percer un trou de 5,4 cm de profondeur pour le manche. La longueur totale de l'outil sera de 1,3 m environ.



Méthode du Bugey (fig. 24)

Dans la région du Bugey (Ain) les banches ne sont pas maintenues par des clés mais étayées directement du sol par de longues perches verticales de chaque côté du mur. Le soubassement terminé, des poteaux de bois de 8 cm de diamètre sont plantés verticalement tous les mètres à l'extérieur et à l'intérieur du tracé des murs. Une fois toute





cette armature installée, les manœuvres de déplacement et de mise d'aplomb des panneaux de banches sont grandement facilitées. Commençant la maison par un angle, on glisse sur quatre rangs de poteaux les côtés du moule, le fond de banche et les gros du mur, il n'y a plus qu'à resserer les poteaux avec une corde. Après avoir pisé ce premier pan de mur, on délie les cordes, en ayant pris soin de faire soutenir le moule de chaque côté. On le fait glisser entre les poteaux suivants, où on le resserre à nouveau pour une nouvelle banchée.

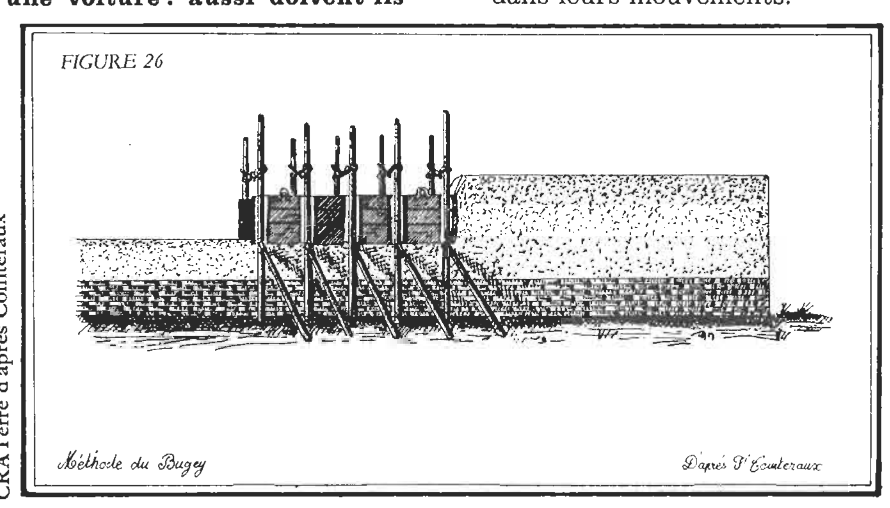
On continue ainsi tout le tour du bâtiment, après quoi on transporte l'encaissement dans l'intérieur, pour faire la même opération sur les murs de refend.

Les avantages de ces deux procédés sont discutés par F. Cointeraux **(fig. 25-26)**.

« (...) Celui du Bugey consiste en un moule, des poteaux bruts des cordes et gros du mur, voilà tout l'équipage, il est toujours prêt ; ainsi on peut faire du pisé à toute heure, dans le moment. L'autre est plus facile à transporter parce que les outils étant fort courts, se chargent aisément sur une voiture : aussi doivent-ils former l'équipage de chaque maître maçon de la campagne, pour qu'il puisse faire travailler loin des villages, particulièrement dans les endroits montueux où les perches seraient difficiles à être transportées et à être passées solidement dans les collines ! La méthode du Bugey est excellente pour bâtir les granges, les écuries, les fermes et toutes autres bâtisses nécessaires aux travaux de l'agriculture. Celle du Lyonnais est bien avantageuse et bien importante pour construire les maisons en terre fort élevées et de conséquence, soit pour l'habitation des maîtres, soit pour les manufactures, fabriques, hôpitaux, presbytères, écoles publiques et autres (...) ».

Épaisseur des murs

On constate que le rapport entre la hauteur et l'épaisseur du mur est légèrement supérieur à 10. Ainsi des murs de 50 cm permettent de monter jusqu'à 7 m de haut. Pour des constructions plus basses, il ne sert à rien de diminuer l'épaisseur en dessous de 40 cm, car les piseurs seraient gênés dans leurs mouvements.



Chainages

Les maisons peu ou pas du tout chainées ont tendance à s'ouvrir surtout si les fondations sont insuffisantes et si le croisement alternatif des banchées aux angles a été négligé. Aussi est-il courant de voir des « tirants » installés après coup à l'intérieur du bâtiment. Ces tirants se composent de deux X métalliques reliés par une tige filetée afin de retenir deux murs parallèles.

On réalise un chainage efficace en encastrant horizontalement des bois de 15 cm de diamètre assemblés aux angles **(fig. 27)**.



FIGURE 27 : BOIS DE CHAINAGE INCLUS DANS LE MUR DU PISE

Les madriers sont encastrés dans l'épaisseur du mur, noyés dans un bain de mortier de chaux et de sable s'ils sont en sapin, et dans du plâtre ou de la terre s'ils sont en chêne.

« Si c'est du sapin, il est d'expérience que le mortier de chaux et sable brûle le chêne et nourrit le sapin ;c'est la raison pour laquelle il faut maçonner en plâtre ou à son défaut de bon mortier de terre toute portée de bois en chêne » (Goiffon réf. 17).

Les angles

D'une manière générale, la réalisation des angles ne nécessite pas de banche spéciale et l'on se contente souvent de croiser alternativement les banchées en bout de mur à chaque assise.

Le traitement de l'angle a toujours posé quelques problèmes en raison de l'érosion qui est plus importante à cet endroit de la construction. Aussi a-t-on cherché souvent à le renforcer :

– En plaçant dans l'angle extérieur un liteau triangulaire (le sabre), pour éviter l'angle droit trop fragile **(fig. 28)**.

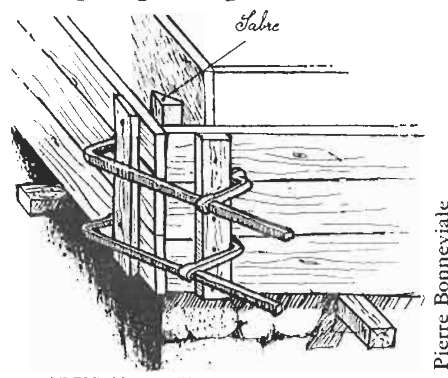


FIGURE 28 : CHANFREINAGE DE L'ANGLE PAR POSE D'UN « SABRE » DANS L'ANGLE EXTERIEUR DE LA BANCHE

– En déposant un filet de chaux de part et d'autre de l'angle. Chaque fois que l'on a fini de damer une couche de terre de 10 cm. **(fig. 29)**.

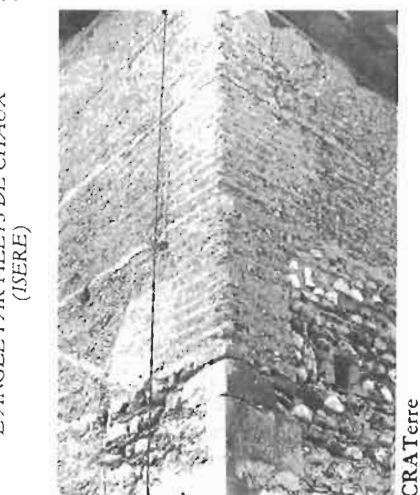


FIGURE 29 : RENFORCEMENT DE L'ANGLE PAR FILETS DE CHAUX (ISERE)

– On renforce l'angle parfois aussi par une maçonnerie de galets de briques, de pierres etc. **(fig. 30)**.

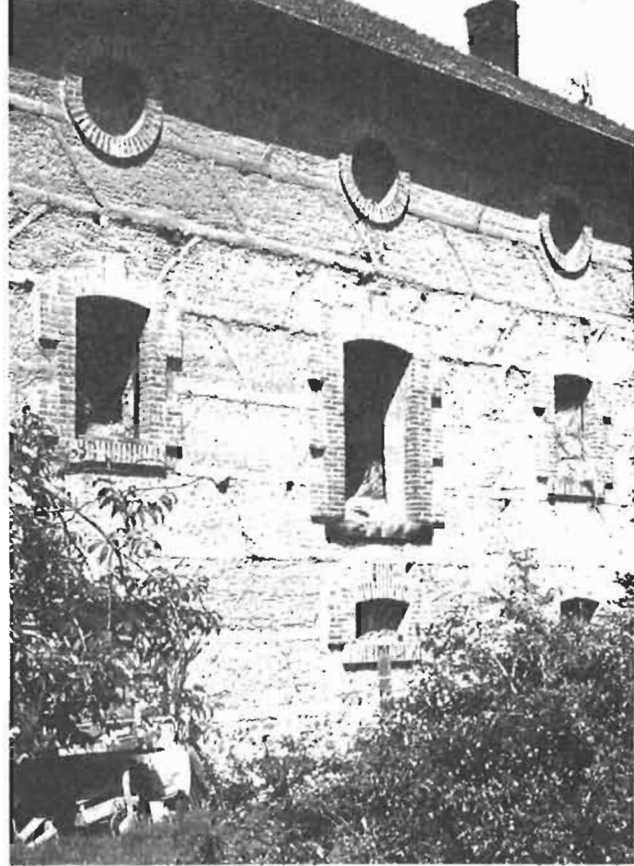




FIGURE 30 : RENFORCEMENT DE L'ANGLE EN « DRAPEAUX » (ISERE)

Ouvertures

Chaque fois que l'on a une ouverture à pratiquer on pose dans la banche deux fonds de banche. On les évase légèrement vers l'intérieur pour faciliter l'ouverture des portes.

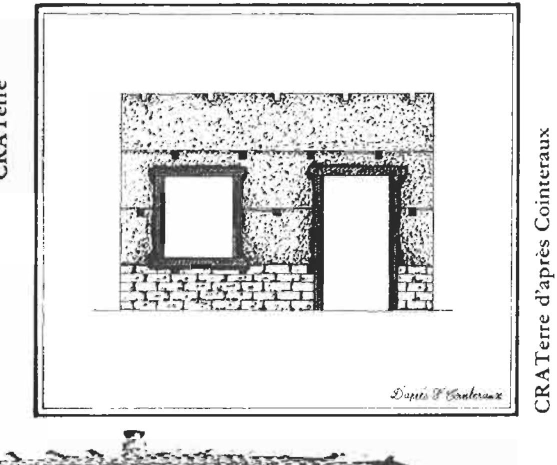


CRATerre

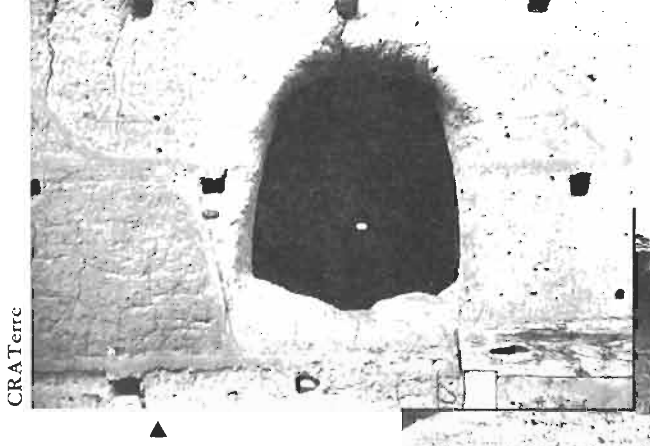
FIGURE 33 : AUVERGNE ▲

CRATerre d'après Cointeraux

▲ FIGURE 31/32 : LES ENCADREMENTS DES PORTES ET DES FENETRES SE FONT SOUVENT EN MAÇONNERIE, EN BRIQUES OU EN BOIS. DES CADRES PLACES DANS LA BANCHE, SOLIDEMENT ETAYES, ET SERVANT DE « RESERVATION » LORS DU DAMAGE TENAIENT PARFOIS LIEU DE CHASSIS. ▼



CRATerre d'après Cointeraux

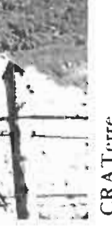


CRATerre

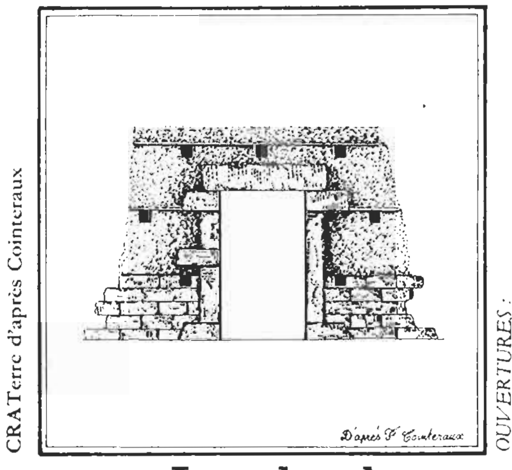
▲

FIGURE 36 : L'OUVERTURE DES FENILS EST SOUVENT TAILLEE DIRECTEMENT DANS LE MUR SANS LINTEAUX NI MONTANTS.

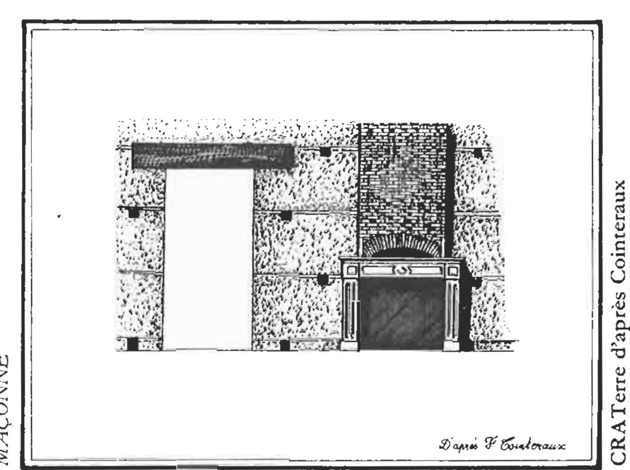
FIGURE 37 : LES PETITES OUVERTURES TRIANGULAIRES SERVENT A LA VENTILATION DE LA GRANGE ▶



CRATerre



CRATerre d'après Cointeraux



CRATerre d'après Cointeraux

OUVERTURES :
FIGURE 34 : PORTE SANS ENCADREMENT MAÇONNE – LINTEAU DE BOIS
FIGURE 35 : PORTE AVEC ENCADREMENT MAÇONNE

Les planchers

Il existe deux méthodes pour poser les solives des planchers.

1. Arrivé au niveau de l'étage, on creuse le logement des solives sur le sommet des murs. Les solives doivent descendre suffisamment bas pour laisser la place du logement des clés et de la partie inférieure de la banche enserrant les murs. On installe le plancher et on continue de bancher l'étage supérieur.

2. Les murs sont élevés jusqu'en haut et les poutres sont placées après, en creusant systématiquement leur logement dans les murs.

Il est recommandé de placer sous chaque solive une semelle de répartition (planche ou pierre plate). L'extrémité des poutres noyée dans le mur doit être enduite de goudron pour leur éviter de pourrir. Les grandes poutres qui nécessitent un appui plus important sont amenées par l'extérieur à travers les murs.

Murs pignons

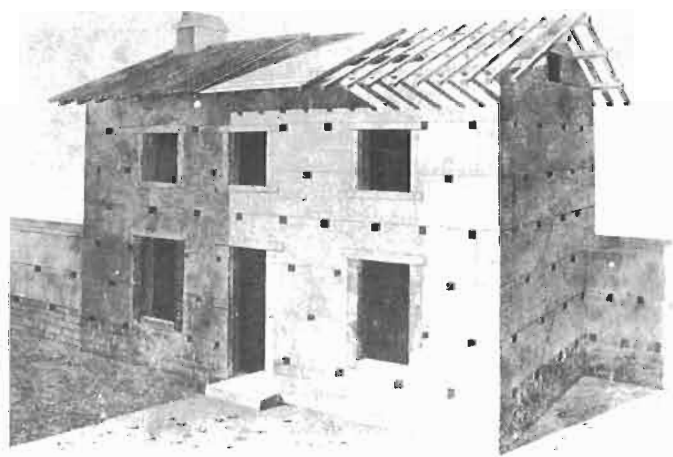
On dame la pente voulue en traçant un trait oblique à l'intérieur des banches. Lorsque les banchées du pignon sont bien sèches on peut creuser les emplacements destinés à recevoir les poutres de la toiture.

Couverture

En général, la conception de la maison en pisé vise à économiser la charpente. Dans ce but, des murs pignons et de refends remplacent toutes les formes de la charpente **(fig. 38)**.

Il n'y a pas de matériau spécifique aux maisons en pisé. On rencontre des toitures en chaume en Bretagne et dans le Dauphiné, des ardoises en Bretagne, et des tuiles plates ou canals en Dauphiné et en Auvergne.

On pourrait s'attendre à de grands débordements de toits sur les maisons en pisé. En fait, les avancées de toiture ne sont jamais très importantes (1 m environ dans le Dauphiné). Lorsque celle-ci est plus importante, elle a en général une fonction précise autre que de protéger le mur, à savoir dans les fermes, à abriter un séchoir ou des chars à foin que l'on n'a pas eu le temps de décharger. Le bon état du toit est cependant un élément important pour la durabilité d'une maison de terre. L'infiltration d'eau sur le sommet des murs amène en effet rapidement la ruine complète du bâtiment.



Rondelet

FIGURE 38 : GRAVURE TIREE DE « L'ART DE BATIR » (RONDELET)

« Une maison construite en pisé, d'après les principes que nous venons d'établir, durera autant qu'une autre en bonne maçonnerie. Il en est de trente pieds de hauteur au dessus du soubassement, qui subsistent depuis deux siècles et sont encore en bon état, sans avoir exigé ni de plus fréquentes, ni de plus importantes réparations que tout autre maçonnerie. En un mot, la construction en pisé est essentiellement durable, et du nombre de celles qui nous préservent le mieux des accidents contre lesquels on implore le secours de l'Architecture. Une maison bâtie en pisé a le triple avantage d'être promptement terminée et habitable, de coûter moins qu'une autre, et de fournir lors de la démolition, un engrais merveilleux pour certaines terres. »

Abbé ROSIER : « Nouveau Cours Complet d'Agriculture », publié en 1786 par une Réunion d'académiciens et d'agriculteurs.

FIGURE 40 : EGLISE DE BOURDENOUS (PRES DE ◀ CORBELIN-ISERE)



CRATerre





COINTERAUX EN 1790...

« (...) Tous les étrangers qui voyagent sur la Saône, dans les diligences qui y sont si commodes et si agréables, ne se sont jamais doutés, en voyant ces belles, ces charmantes maisons de campagne, élevées sur les coteaux, qu'elles ne soient construites qu'avec la terre (...).

Qu'il me soit permis d'observer qu'on doit employer ce genre de bâtir dans toute la République, soit pour la décence des villages et l'honneur de la nation, soit pour épargner le bois qu'on emploie en si grande abondance aux constructions, soit pour éviter les incendies, soit pour garantir les laboureurs du froid et des excessives chaleurs (...).

Les boulangers des faubourgs de Lyon préfèrent, pour mettre leurs farines, les greniers bâtis en pisé, parce qu'ils ont l'expérience que les rats et la vermine ne peuvent s'introduire dans ces murs massifs (...).

Un Parisien était venu dans le Lyonnais et avait appris qu'on pouvait construire des maisons avec de la terre seule. Il entreprit de bâtir par cette méthode une maison à Paris, près de l'Hôtel des Invalides. Les facultés ne lui ayant pas permis d'y poser le toit, cette maison en a toujours été privée, ce pisé n'a jamais eu de couverture. Voilà le cinquième hiver que cette construction toute nue est exposée à toutes les injures du temps : pluies, neiges, sécheresse, vents, orages, en un mot à toutes les intempéries (...) je ne manque pas de visiter cette bâtisse, toujours je la vois dans le même état et j'attend encore son éboulement (...).

– Le pisé acquiert de la solidité par la massivation dont l'effet est une diminution de son volume et de la suppression de l'air.

– La durée de plus de 200 ans ne provient que de l'évaporation parfaite de la portion de son humidité naturelle.

– Le gluten de la terre cause le rapprochement intime et la crispation de toutes les particules à l'instant que les coups redoublés du battoir opèrent artificiellement (...) semblable à cette adhésion naturelle, qui s'opère pour la formation des pierres (...).

MAISON TRADITIONNELLE

FIGURE 45 : MAISON DAUPHINOISE - DES MURS ELEVES ET UN FAIBLE DEPASSEMENT DE TOITURE



DU BAS-DAUPHINÉ

Nous nous sommes interrogés sur les rapports que pouvait avoir une famille, avec un espace particulier : celui de son habitation. De quelle façon ce lieu est d'abord un habiter, une manière culturelle de répondre à des rôles définis par une communauté et un mode de vie ? Comment ces rapports s'inscrivent matériellement dans l'espace et comment l'espace les renvoie et ou les transforme ? Mais une habitation c'est aussi les circonstances et les pratiques qui jalonnent son édification. Usages sociaux, entraide collective, matériaux utilisés..., tout se conjugue pour élaborer cet ensemble cohérent que sera la maison achevée. Celle-ci renvoie, au-delà de son propriétaire, à une expression particulière de la communauté qui en a secrétée les formes profondes. Il semble qu'il existe un fond commun à partir duquel s'élaborent et se reproduisent les modèles utilisés. Les maisons du Bas-Dauphiné présentent un air de famille certain, et, l'introduction de toute une gamme de variations permet à chacun d'apposer sa marque personnelle.

Notre réflexion part des données matérielles de l'enquête sur l'habitat rural, lancée en 1945 par G.H. Rivière alors conservateur au Musée des Arts et Traditions Populaires. Les résultats, en cours de publication, constitueront une collection en 22 volumes dont le 21e conçu et rédigé par H. Raulin, est paru en 1977 chez Berger-Levrault. C'est dans ce volume, consacré à l'architecture en Dauphiné, qu'on trouvera mentionné la monographie qui servit de base à notre propre enquête.

Brézins, village du Bas-Dauphiné, est situé à mi-chemin entre la côte St-André et St-Etienne de St-Geoirs. Essentiellement agricole, cette commune de 830 habitants, ne se distingue en rien des autres communes avoisinantes. Ses nombreuses constructions en pisé sont l'expression de la forme traditionnelle de l'habitat dans la plaine de la Bièvre.

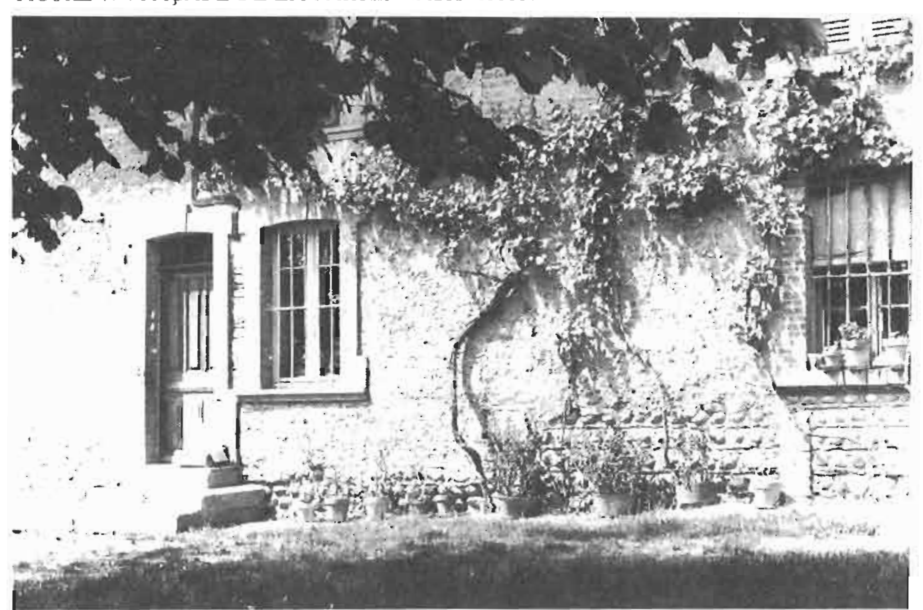
La maison d'Albert et Marie



Albert et Marie, âgés respectivement de 80 et 79 ans, habitent une ancienne ferme construite en pisé, avec des fondations en galets hourdés **(fig. 47).** *Un large auvent protège la façade principale des intempéries. Jusqu'à la dernière guerre mondiale le pisé était le mode de construction « naturel » de cette région. Aussi Albert, comme la plupart des hommes du pays, a pratiqué cette technique qu'il resitue, pour nous, dans un contexte de société traditionnelle. « La cohésion sociale alors était plus forte, la participation de chacun était gratuite. C'étaient des corvées qu'on se rendait, vous étiez obligés d'aller à votre tour aider ceux qui vous avaient aidés »... « Le propriétaire faisait la tournée des gars qui participeraient à la construction. Dès les premiers beaux jours, on s'y mettait tous ensemble. On ne comptait pas son temps et les journées étaient longues ! ».*

Le pisé était exécuté par une dizaine d'hommes. Trois d'entre eux sortaient la terre et l'émiettaient pour la rendre plus fine ; on appelait cela : « faire la terre ». Ici, la terre était bonne partout et il suffisait de creuser la couche labourable pour atteindre la couche argileuse. Souvent on mouillait légèrement la terre, cela la rendait plus facile à damer. Trois autres transportaient la terre, dans des sacs de toile d'environ 50 kilos, et la déversaient entre les banches où trois hommes robustes, munis de pisons, damaient. « Les gars qui pisent, il leur faut de bons bras ! », nous a dit Albert. « Ils soulevaient le pison en remontant leurs bras au-dessus de leur tête puis, ils le lachaient en l'accompagnant des bras » et ainsi de suite. « En travaillant toute la journée ils arrivaient à faire 7 à 8 banchées. On montait deux tours sans s'arrêter et puis il fallait laisser sécher pendant 15 jours, après avoir couvert le mur de tuiles, pour le protéger des pluies. Ensuite on recommençait.


FIGURE 47 : FAÇADE DE LA PARTIE HABITATION



Généralement trois mois s'écoulaient entre le début et la fin du gros œuvre. Les murs surmontés de la charpente annonçaient la « Ravola » : un bouquet de sapin enrubanné était dressé au faîte du toit et le propriétaire offrait à tous un repas largement arrosé de vin. La soirée s'écoulait gaiement à boire et à chanter.

Le rôle du charpentier

Albert nous fait remarquer le rôle particulier du charpentier lors des différentes étapes de la construction. Il est le premier artisan auquel le propriétaire fait appel. Avec lui il discute de l'implantation, de l'orientation et de la forme à donner au bâtiment. Puis, toujours sur place, le charpentier trie et équarrit le bois réuni pour la charpente. Son avis et sa présence sur le chantier sont indispensables. Il joue le rôle de maître d'œuvre, car ses appréciations dues à une longue pratique sont généralement justes et ses conseils recherchés. Propriétaire des banches de bois, 3 paires à Brézins le charpentier les posait lui-même. Officiellement le propriétaire commandait les travaux mais en fait le véritable maître était le charpentier à qui tous s'en remettaient pour les questions délicates.

Toute nouvelle construction était mûrement réfléchie et demandait une longue préparation. C'était aussi l'occasion de resserer des liens familiaux, amicaux, et professionnels entre les membres d'une même communauté et aussi parfois, celle de réaffirmer son statut social. Le propriétaire devait fournir les matériaux nécessaires. Les pierres, ramassées et entassées à l'époque des labours, provenaient de ses champs. Avec des tombereaux il les transportait jusqu'à l'emplacement du futur chantier. Le bois destiné à la charpente et à la menuiserie était fréquemment offert par les parents, quand ils pouvaient aider leurs enfants. Il fallait aussi acheter quelques matériaux, en particulier de la chaux et les tuiles du pays provenant de St-Pierre de Bressieux.

Regard sur un habiter

Marie et Albert n'ont pas construit leur maison, c'est un héritage, mais ils y habitent depuis 30 ans. Anciennement la ferme appartenait aux grands-parents d'Albert. A cette époque les bâtiments se présentaient sous l'aspect d'un unique corps rectangulaire, orienté plein sud, dont un hangar séparait la partie habitation, vieille d'au moins 200 ans, des diverses écuries. Son grand-père fit construire le second hangar qui donna aux bâtiments leur actuelle forme de L. Par la suite des changements plus réduits eurent lieu. Son père remania les ouvertures de l'habitation qui furent reprises en briques, pratique courante dans le pays. Une modification du tracé de la route jouxtant la maison ayant laissé un espace libre, son père l'utilisa pour ajouter l'actuelle resserre et le grenier au-dessus. Albert ne fit subir aucune modification notable aux bâtiments, qui, malgré ces changements successifs, conservent une cohérence interne sûre.

Avant de nous engager plus à l'intérieur de la maison, nous devons faire un bref retour en arrière et voir l'ensemble composé de la maison, des écuries, du grenier, du poulailler, du fenil, du hangar et de la cour comme essentiellement consacrés aux activités agricoles **(fig. 49).** *La famille vivait alors sous le*

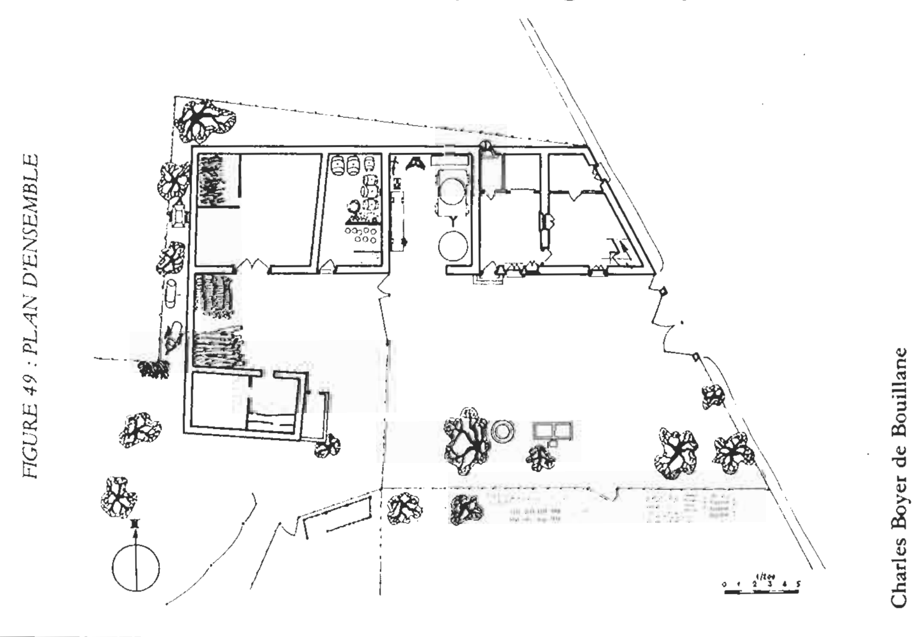
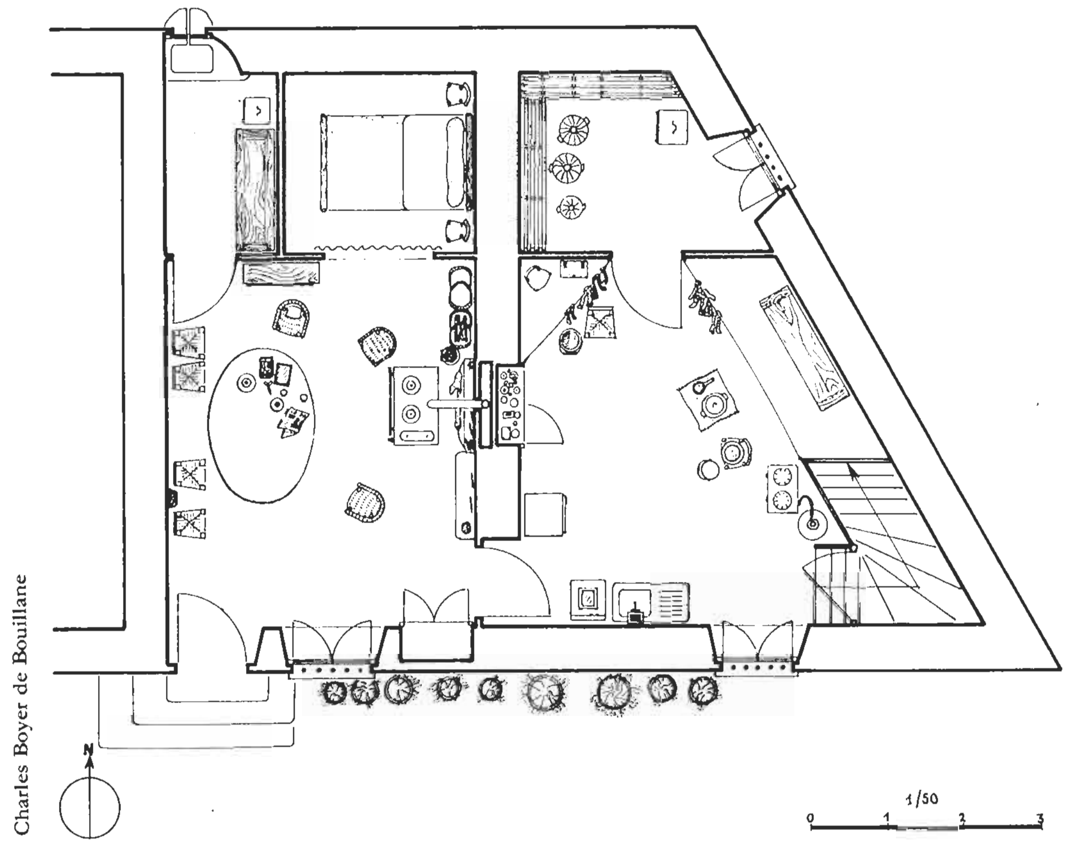


FIGURE 49 : PLAN D'ENSEMBLE

Charles Boyer de Bouillane

régime de la polyculture familiale et élevait des vaches pour la production laitière. En 1945 l'exploitation couvrait 35 hectares et comptait 2 mules, 8 vaches, 4 moutons, 30 poules, 10 lapins et un chien. Lors de notre enquête, les terres sont louées depuis 20 ans déjà et petit à petit les animaux ont disparu, quelques poules sont conservées ainsi que trois chiens de chasse. Les bâtiments sont inemployés et l'ancien matériel agricole immobile sous le hangar. La vie s'est rétrécie à la seule partie d'habitation qui condense ainsi l'ensemble des rapports unissant les habitants à leur maison **(fig. 50)**.



Charles Boyer de Bouillane

FIGURE 50 : LA PARTIE D'HABITATION

Pour Albert, qui a fait la guerre et travaille dehors, la maison semble être un point d'ancrage, où il peut savourer le repos et le calme. L'homme rentre, la femme lui sert son repas, le journal l'attend au coin de la table avec le vin, indispensable compagnon pour « aider à vivre ». Les souvenirs personnels d'Albert fixent au mur des valeurs masculines typiques : la chasse et la guerre. Une paire d'obus transformée en vase et le tableau de décorations illustrent la guerre de 14-18. Deux fusils et une carabine suspendus à un râtelier, fabriqué par Albert, évoquent avec les motifs de la toile cirée, un permanent tableau de chasse.

Mais l'intérieur de la maison est le domaine privilégié de Marie. Aussi son premier geste en venant s'installer à la ferme, après la mort de sa belle-mère, fut-il de tout brûler et repeindre : « C'était sale et pourri ». Elle tente d'effacer les marques de la vie de l'autre pour repartir à « neuf ». Marie, comme nous tous, transporte avec elle son histoire et celle de sa famille. N'apporte-elle pas le lit, l'armoire, la table, les chaises et la cuisinière qu'elle reçut en dot à son mariage en 1917 ? Marie va se dépêcher de fixer les lieux en y accrochant ses propres objets. La table est au centre de la pièce, la cuisinière dans l'ancienne cheminée inutilisée, l'armoire au fond un peu en retrait et, à demi dissimulé, mais rendu présent par un rideau de dentelle blanche, le lit dans l'alcôve. Cette disposition adoptée en 1940 n'a pas variée jusqu'à nos jours (1975). Ces objets lourds de sens et caressés de gestes mille fois répétés se sont coulés dans les murs et le sol, ils se sont enracinés dans la maison. Seuls des souvenirs, photos et menus objets apparaissent et disparaissent au fil des années selon la courbe mouvante des sentiments.

CONSTRUIRE EN PISÉ EN 1972

En France, jusque dans les années 50, la construction traditionnelle du pisé, telle que nous l'avons présentée, a été fréquemment employée dans une partie du monde rural. Ensuite on enregistre un rapide déclin suivi d'une quasi disparition, peut-être liée à la désagrégation de la société rurale. Les transformations de l'après-guerre, l'effort d'industrialisation et de modernisation, la dépopulation des campagnes et l'essor de techniques nouvelles notamment dans le bâtiment (emploi systématique du béton) ont certainement contribué à l'abandon de cette technique, qui est apparue, alors, comme un mode de construction « ancien ».

En effet, la mise en œuvre relativement simple et la nécessaire sociabilité qui l'accompagnait, sous la forme d'une entraide collective, relevaient d'une économie inadaptée face à une économie « moderne ». Le pisé utilisé traditionnellement ne pouvait lutter contre les notions de compétitivité, de rendement, de production standardisée et d'anonymat. Anciennement, construire était l'affaire de tous et impliquait un devoir : « vous deviez rendre service à ceux qui vous avaient déjà aidé ». Toute activité prenait place dans un réseau serré de relations sociales. L'argent n'était pas le seul nerf des relations, il était rare et le souci d'économie primait, mais, on ne lésinait pas quand il s'agissait de célébrer joyeusement le travail achevé.

Le pisé n'a pas encore totalement disparu, ni des mémoires, ni des pratiques. D'une part la multitude de constructions en pisé requièrent chaque jour un entretien, des réparations ou de nouveaux aménagements que seuls des gens suffisamment qualifiés peuvent réaliser. Ainsi un certain savoir et une pratique subsistent-ils. D'autre part quelques-uns continuent à utiliser le pisé. C'est ainsi que nous avons rencontré un charpentier, Monsieur Huguet, qui, en 1971-1972 a construit sa maison en pisé.

Monsieur Huguet habite à Corbelin, village de 1612 habitants, situé dans la région des Terres-Froides où abondent les constructions en pisé. Avant la dernière guerre, Corbelin était entièrement bâti en pisé, seules l'église et la mairie étaient en pierre blanche ! Actuellement on remarque moins les constructions en pisé car depuis ces 10 dernières années tout le monde « fait des façades », enduisant le pisé.

FIGURE 51 : LA MAISON EN PISE DE M. HUGUET



CRATerre

Rencontre avec un charpentier

Monsieur Huguet a appri, chez un charpentier de Corbelin, non seulement l'art de la charpente mais aussi le pisé, car dans cette région « c'étaient les charpentiers qui faisaient le pisé ». Il a participé puis dirigé des constructions en pisé selon les méthodes traditionnelles. Il a enregistré l'abandon de cette technique. Il n'a pas fait une seule construction en pisé depuis 10 ans, excepté sa maison qu'il considère être la dernière.

Il y a 30 ans et plus il se faisait encore beaucoup de pisé. « Les premiers pisés que j'ai fait on y allait à deux et toute la main d'œuvre était fournie à côté, c'était le propriétaire qui la fournissait .C'est des voisins qui venaient lui donner la main. Après ils s'arrangaient entre eux, ils se rendaient le coup de main... Nous, les charpentiers, étions payés en argent... Le matériel était le même que celui dont nous nous sommes servi pour ma maison. Les banches, les pilons et les serres-joints c'étaient nous ; autrement le reste c'était le propriétaire ».Les paniers ou « corbeille maçon » étaient d'un modèle courant dans le pays. C'étaient des gens du coin qui les fabriquaient. Ces corbeilles se portaient en équilibre sur le haut du dos et la nuque, un capuchon fait d'un sac de chaux rembourré de paille amortissait la charge. Il fallait 82 corbeilles pour faire une banchée. **(fig. 53)**. *« Quand on damait, on faisait la journée*

FIGURE 52 : CORBEILLE ET PISOIR UTILISE TRADITIONELLEMENT



CRATerre

FIGURE 53 : FAÇON DE PORTER LA TERRE DANS UNE CORBEILLE



Nathalie Sabatier

complète. On faisait 10 à 11 heures par jour, il fallait pouvoir tenir le coup... Une fois les murs achevés il y avait le casse-croûte offert par le patron. On arrosait deux coups... le deuxième venait quand la charpente y était... Ici se sont les charpentiers qui posent les tuiles... Quand on montait les tuiles c'était la fête ! Ça se montait tout à bras alors ! Il y avait du monde, même en rabiot ».

Monsieur Huguet n'a pas essayé d'aménager une maison ancienne en pisé car « cela coûte tout aussi cher que d'en faire une neuve. Avec le vieux il faut faire ce qui peut se faire ! ... Il faut des gars qui soient habitués à avoir travaillé du pisé, parce qu'autrement ils foutraient tout par terre. Et puis il ne s'agit

pas de faire un trou là-dedans comme dans un mur en béton. Il faut étayer. Les ouvertures, il faut les percer en deux fois, percer la moitié, puis faire les linteaux et ensuite repercer le reste... La restauration d'une maison en pisé est l'affaire du maçon et moi, je ne fais pas de la maçonnerie »

Par contre Monsieur Huguet avait toujours eu l'idée de construire en pisé « j'ai toujours dit que si j'en faisais une je la ferai en pisé... l'été c'est frais et l'hiver c'est chaud. Il n'y a pas besoin de doublage. Autrement... Il n'y a rien d'autre... »

Avec son bel enduit blanc et ses ouvertures réparties sur tous les murs, sa maison ressemble tout à fait aux villas actuelles. Le toit est à deux pentes pour raison d'économie, deux pièces ont ainsi pu être aménagées sous les combles. Pour la couverture, l'ardoise a été préférée à la tuile écaille qui retient trop la neige poudreuse.

La construction de la maison

Pour la construction, Monsieur Huguet et son équipe se sont servis de banches de bois de 3 mètres de long sur 0,96 m de hauteur, utilisées anciennement. Ce n'étaient pas les siennes, il n'en avait plus et il a dû emprunter celles de son ancien patron charpentier qui les avait conservées. Il n'ont apporté aucune modification notable à la technique. Comme ici la terre est bonne partout, ils se sont contentés de prendre la terre extraite de la fouille des fondations. Ils n'ont donc pas eu à creuser et il y eut même de la terre « en rabiot ». Le maçon n'ayant pas besoin de sa grue pendant quelques temps ils s'en sont servis pour transporter la terre avec des bennes. Leur travail s'est ainsi réduit de moitié.

A cinq, lui-même et quatre ouvriers charpentiers de son équipe, ils ont fait les murs de juin à septembre. Ils ont travaillé à temps perdu, lorsque le travail de l'atelier de charpente le permettait. Les ouvriers étaient payés, « c'était un travail comme un autre ». Parmi eux, deux avaient déjà fait du pisé.

Sur les fondations en béton, ils ont monté quatre hauteurs de banches plus les pignons, Ils ont d'abord réalisé deux hauteurs de banches puis attendu 15 jours pour laisser sécher Monsieur Huguet insiste sur l'importance de couvrir les murs finis afin de les protéger de la pluie. « S'il pleut, ça va tout par terre ! ». Une banchée tout compris s'exécute en une heure un quart, une heure et demie. A cinq, ils ont damé environ 20 m2 par jour.

Les encadrements des portes et des fenêtres sont en béton. Dans les banchées ils ont mis un peu de mortier pour marquer les joints. Seuls les murs extérieurs de la maison sont en pisé, à l'intérieur ce sont des cloisons.

L'enduit extérieur a été réalisé par le maçon car ce n'est pas le rayon du charpentier a dit Monsieur Huguet. Le charpentier est un spécialiste, le maçon aussi. Néanmoins il a pu nous dire que l'enduit à la chaux est préférable au ciment. « Si vous mettez du ciment artificiel sur du pisé, ça tient ! Quand l'enduit ne tient pas, c'est parce qu'ils le font trop gras. Autrefois quand ils le faisaient à la chaux légère ça tenait peut-être... des générations ! ... je crois que c'est deux brouettes de sable pour un sac de chaux ».

Monsieur Huguet n'a pas fait le calcul du prix de revient de sa maison. Mais il mentionne d'abord l'économie réalisée sur le doublage. Il insiste sur les difficultés de comptabiliser le temps passé sur un chantier par son équipe, mais remarque que de toutes façons « c'est plus long et qu'il faut plus de monde... mais il y a quelque chose qui gagne, c'est que la matière, elle, ne coûte rien !... » Par contre il dit avoir « tiré au plus juste » pour la charpente et s'il a utilisé des chenaux de cuivre c'est parce qu'ayant fait dépasser les ardoises cela lui avait permis de gagner toute la zinguerie. « Alors je n'avais que ça je me suis dit, je vais mettre des chenaux de cuivre c'est une idée comme une autre et c'est plus solide. ! ».

Monsieur Huguet est sceptique sur les possibilités de reprise de ce mode de construction par des entreprises locales ou autres. Ce ne sont pas tant les obstacles matériels tels que le temps ou le nombre d'ouvriers qui l'arrêtent mais la protection. « Maintenant avec la protection c'est infaisable. C'est infaisable de mettre des filets tout le tour et... il y aurait plus de travail à changer la protection de place (à toute nouvelle banchée) qu'à faire le travail... et puis quand il pleut, les consoles ça ramène l'eau contre les murs et puis ça dégrade toute la terre qui est fraîche ! ».

Même si on lui demandait de construire il n'est pas certain d'accepter. « Il faudrait bien voir le prix de revient... maintenant ce n'est pas une petite histoire... ». Par contre Monsieur Huguet pense que « dans les pays qui ne sont pas riches et qui ont de la main d'œuvre à profusion, alors là il serait bon !... mais ici le mode de construction est parti et puis c'est tout » conclut-il. Le pisé traditionnel n'a pu survivre au couple rendement-profit de notre société.

LE PISÉ AU MAROC : UNE AUTRE DIMENSION

Après l'étude du pisé tel qu'il fut employé dans les régions françaises, le Maroc vient donner une dimension monumentale à l'architecture de terre.

En effet on pourrait penser que l'architecture de terre se limite à l'habitat individuel de quelques étages : les hameaux collectifs fortifiés – qsar ou irherm (berbère) – véritable monde alvéolaire où toute une population villageoise vit dans un univers de couloirs clos et de simples chambres de terre battue, nous fournissent une preuve qu'une technique comme le pisé peut fort bien donner des espaces très différents et, dans le cas présent, créer une architecture plus qu'imposante **(fig. 55)**.

En général, pour bâtir un qsar, on utilise la technique du pisé pour les murs et des briques d'abode pour les décorations murales en façades, les tableaux des ouvertures et les escaliers. La construction mobilise une douzaine d'ouvriers si elle est de dimension moyenne, ce nombre peut atteindre la centaine dans le cas d'un qsar très important. Il n'y a pas, à proprement parler d'architecte, mais plutôt un chef de chantier (le mouendiz). Un maître-maçon (maallem) s'occupe plus particulièrement du pisé et un autre de l'adobe.

Les fondations, creusées à 50 cm de profondeur et constituées d'un blocage de pierres (mortier de chaux et terre) se prolongent par un soubassement de 20 à 50 cm de haut, sur lequel viendront s'établir les premières banchées.

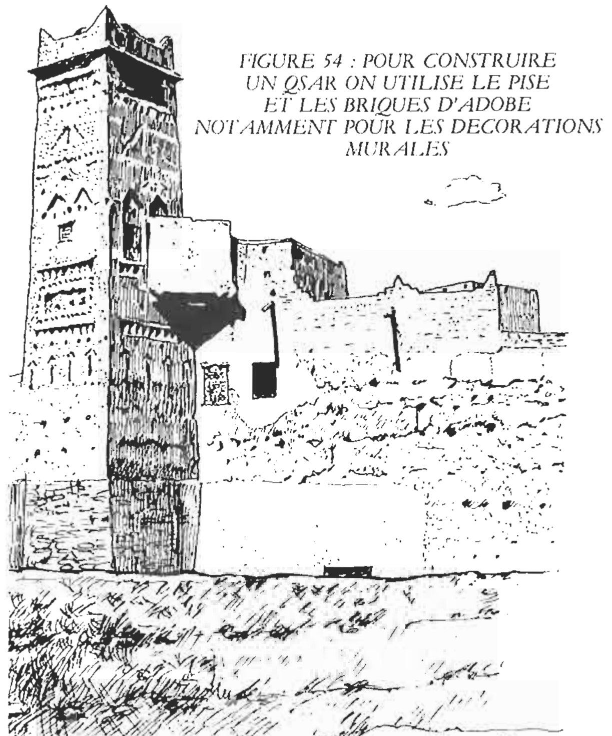


FIGURE 54 : POUR CONSTRUIRE UN QSAR ON UTILISE LE PISE ET LES BRIQUES D'ADOBE NOTAMMENT POUR LES DECORATIONS MURALES

Pierre Bonneviale

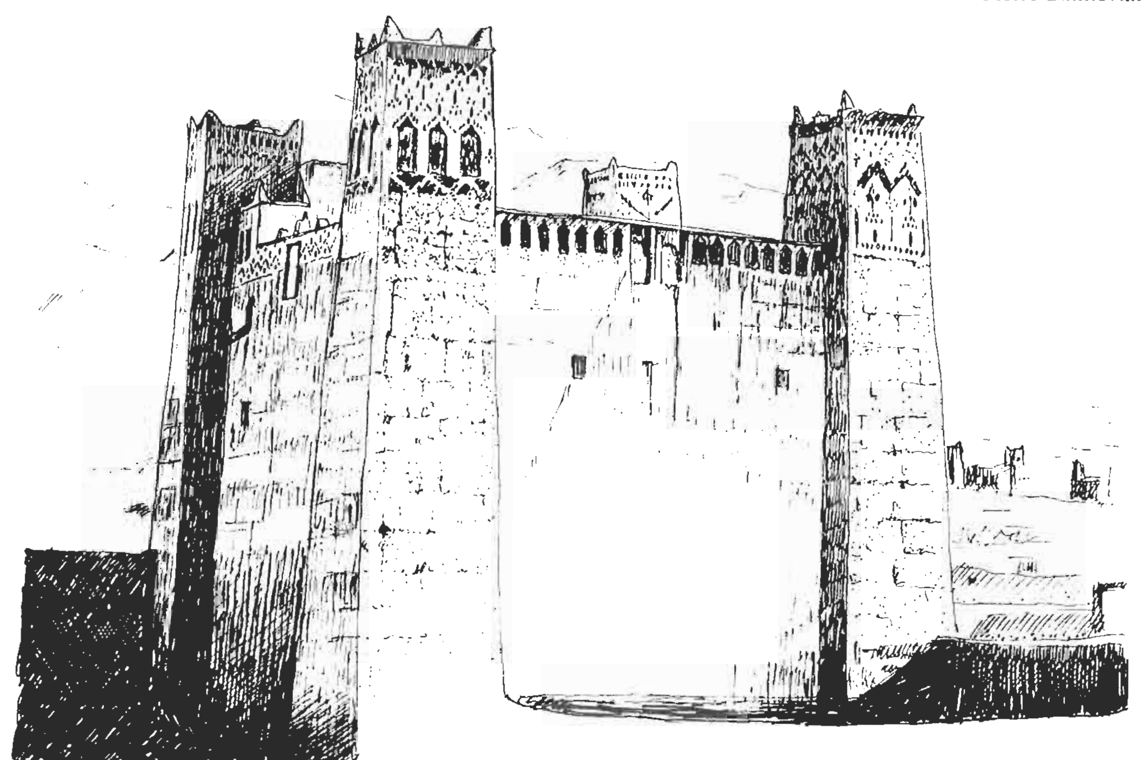


FIGURE 55 : QSAR

Pierre Bonneviale

FIGURES 56: UNE BANCHE D'UNE SIMPLICITE REMARQUABLE PERMET UN TRAVAIL FINI TRES SOIGNE







Dirk Belmans

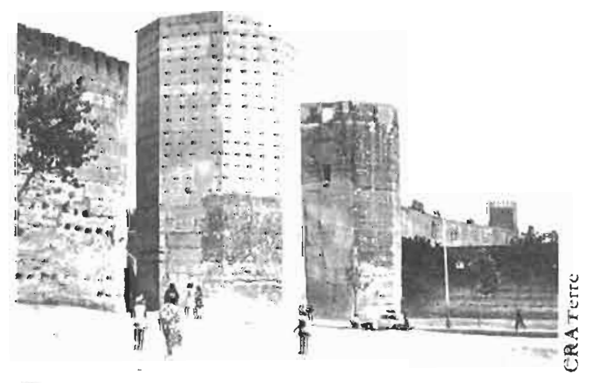
Les outils du piseur marocains restent très rudimentaires : une houe, un panier (ou couffin) et un pisoir en bois.

La banche très simple se compose de rondins de bois en guise de clés et poteaux, de panneaux en planches et de cordes pour maintenir le tout. Sa hauteur est de 60 à 80 cm, sa longueur varie de 1,4 à 1,8 m. Il faut 20 minutes environ pour la mettre en place.

Les murs sont montés avec fruit et peuvent mesurer de 0,8 à 1 m d'épaisseur à la base pour n'avoir plus que 0,6 m d'épaisseur au-dessus de 3 m de hauteur.

Trois ouvriers font le travail, un dame la terre (le maalem), pendant que les deux autres l'approvisionnent. Le remplissage et le compactage d'une banchée prendront 40 mn environ. La rapidité de l'exécution dépend du niveau où l'on travaille et de la saison. Pour le rez-de-chaussée, la production journalière atteint en moyenne 8 à 10 banchées en été et 4 à 6 en hiver ; en étage elle ne sera plus que de 6 à 7 banchées en été et de 4 à 5 en hiver. Le temps de séchage est plus long en hiver, et le transport de la terre est plus difficile en étage. Un bâtiment de 2 étages de 12 × 12 m demandera environ trois mois d'édification à la meilleure saison (mars à octobre) et nécessitera de 700 à 600 heures de travail.

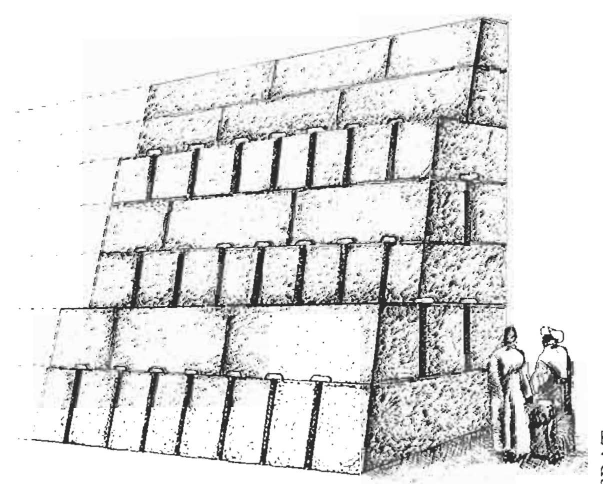
FIGURE 57 : PORTE DE LA VILLE DE FEZ (EN PISE)



CRATerre

Quelques rares vestiges au Maroc telle la forteresse Tirhermt n'Imassine reflètent une conception particulière du pisé : les murs sont constitués d'assises alternées de banchées en panneresse et en boutisse **(fig. 58)**. La première assise est constituée de banchées parallèles séparées par une quinzaine de centimètres. Sur celles-ci viennent se disposer à leur tour, en panneresse, trois suites de banchées parallèles espacées elles aussi. La troisième assise de banchées disposées en boutisse ne couvrira que deux des trois banchées inférieures. Le tout forme une épaisse muraille en « gradins » qui s'achève par un mur de pisé ordinaire. Ces banchées étaient hautes de 0,9 à 1 m et larges de 0,45 à 0,55 m. Ce mode de construction, très long et très coûteux répondait à des objectifs militaires. Il est totalement abandonné aujourd'hui.

FIGURE 58 : MUR EN PISE DE LA FORTERESSE DE TIRHERNT N'IMASSINE





CRATerre

DU PISÉ DANS LA CORDILLIÈRE DES ANDES : LA TAPIA

Les constructions en terre représentent 60 % du cadre bâti péruvien. La majorité est en pisé ou en adobe, qui semble prépondérante dans la région côtière. Localiser les bâtiments en pisé n'est pas chose aisée, on peut affirmer que l'on en trouve très fréquemment dans les régions montagneuses.

Ce que nous avons expliqué à propos de la mise en œuvre du pisé en France à l'aide de témoignages et écrits anciens, s'illustre ici par des documents qui proviennent de Huancavelica où les paysans bâtissent traditionnellement en pisé. La technique retrouve ici toute l'actualité qu'elle a perdue dans d'autres pays.

L'outillage **(fig. 59)** est très semblable à celui utilisé en France. On y reconnaît :

- Les panneaux de banches en bois (160 × 55 cm).
- Le fond de banche.
- Les traverses métalliques en guise de clés.
- Le pisoir en bois.
- La pelle et la pioche.
- Plus quelques sacs et une échelle ; voilà tout l'équipement.

Le chantier s'organise de la même façon que celle décrite précédemment **(fig. 60)** :

1 – La terre est extraite directement à proximité du bâtiment à élever (pas de problèmes de transport).
2 – Après extraction celle-ci est mise en sacs.
3 – Elle est élevée à dos d'homme.
4 – On la vide dans la banche en la répartissant.

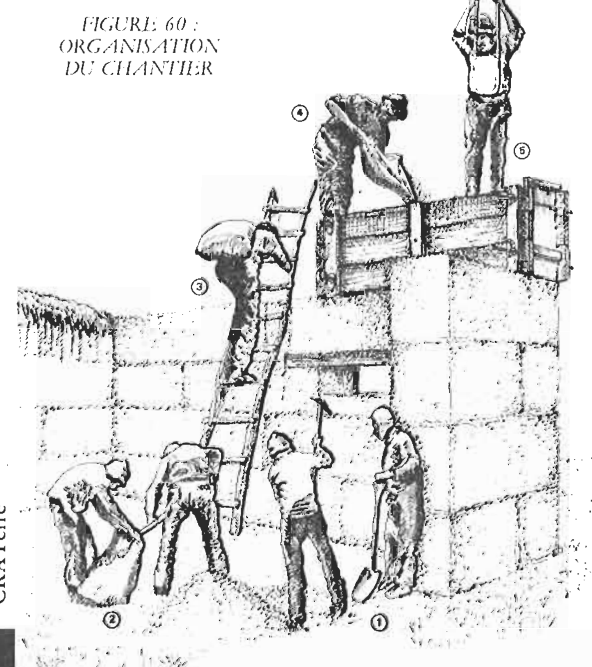


FIGURE 60 : ORGANISATION DU CHANTIER

CRATerre

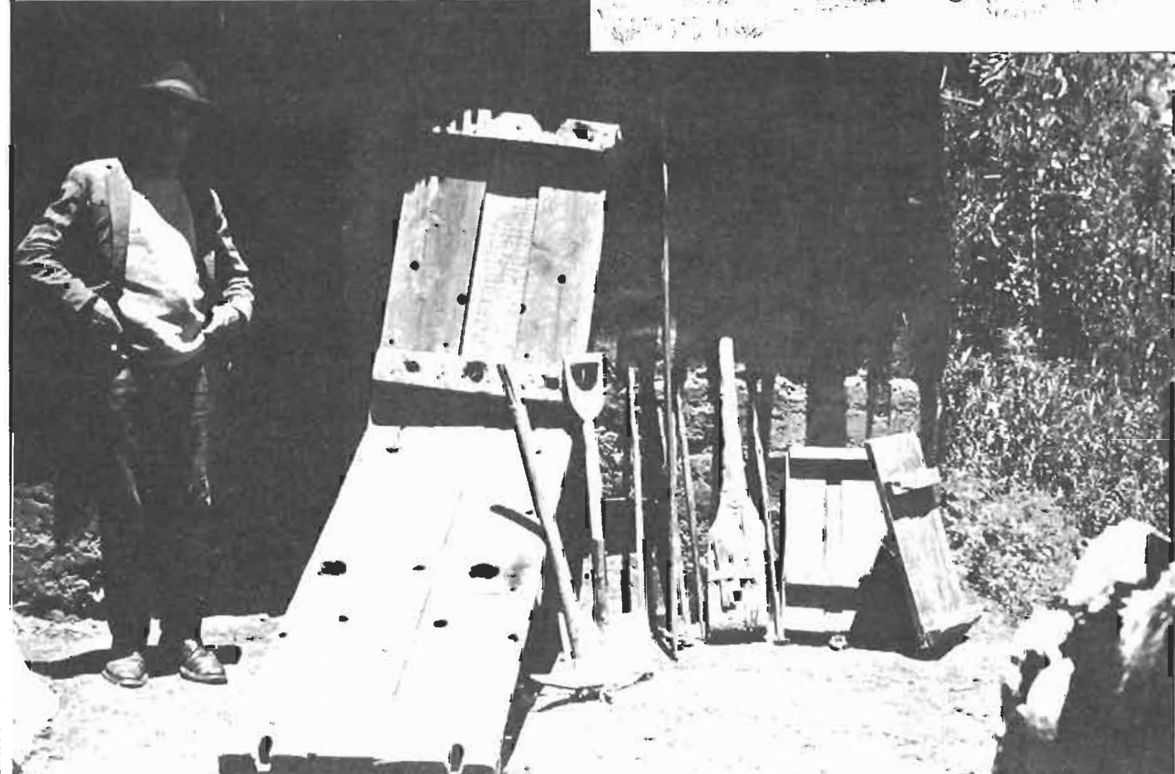
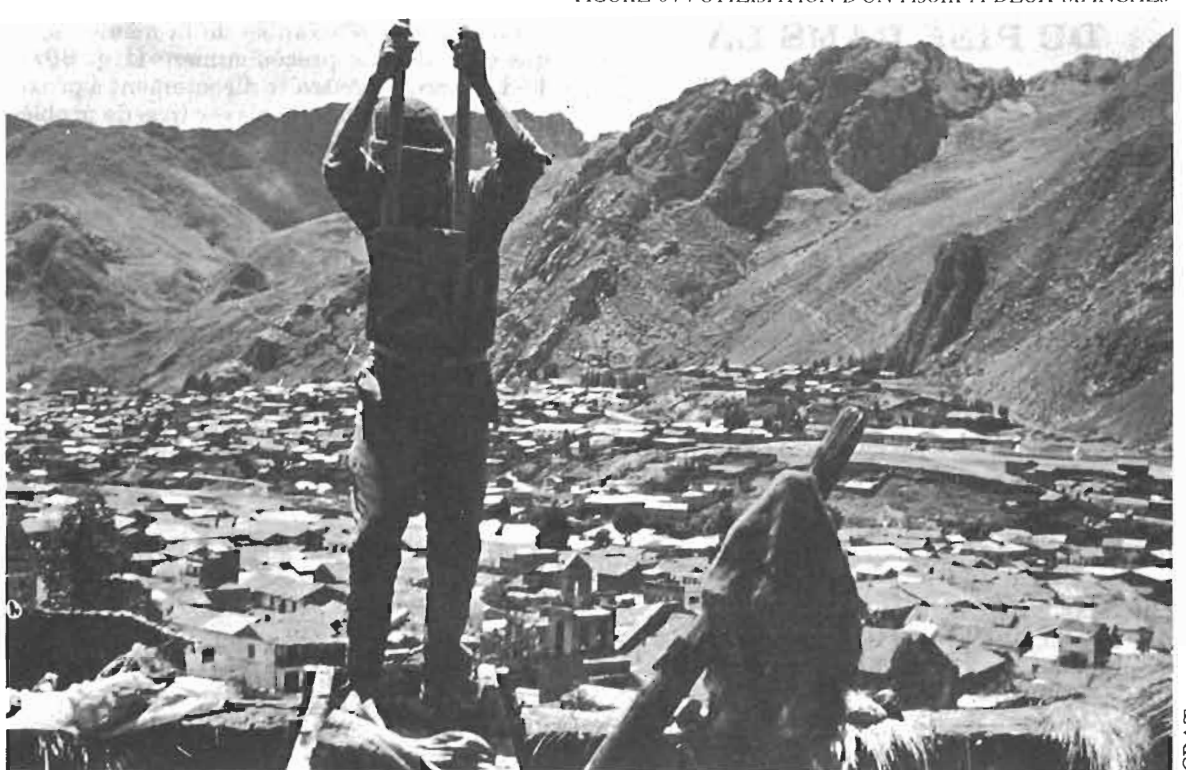

CRATerre

FIGURE 59 : LES OUTILS DU PISEUR PERUVIEN (HUANCAVELICA)

FIGURE 61 : UTILISATION D'UN PISOIR A DEUX MANCHES



5 – On la dame avec le pisoir **(fig. 61)**. On utilise parfois un pisoir à deux manches encadrant un gros morceaux de bois.

L'installation de la banche sur le mur demande 20 minutes et son remplissage, par trois hommes et deux enfants de 40 à 50 minutes ; chaque banchée mesurant : 140 × 45 cm, et le mur 40 cm d'épaisseur. Les murs terminés sont recouverts de chaume d'Ichu avant la pose du toit, afin de les protéger de la pluie ou d'une dessication trop rapide **(fig. 62)**.

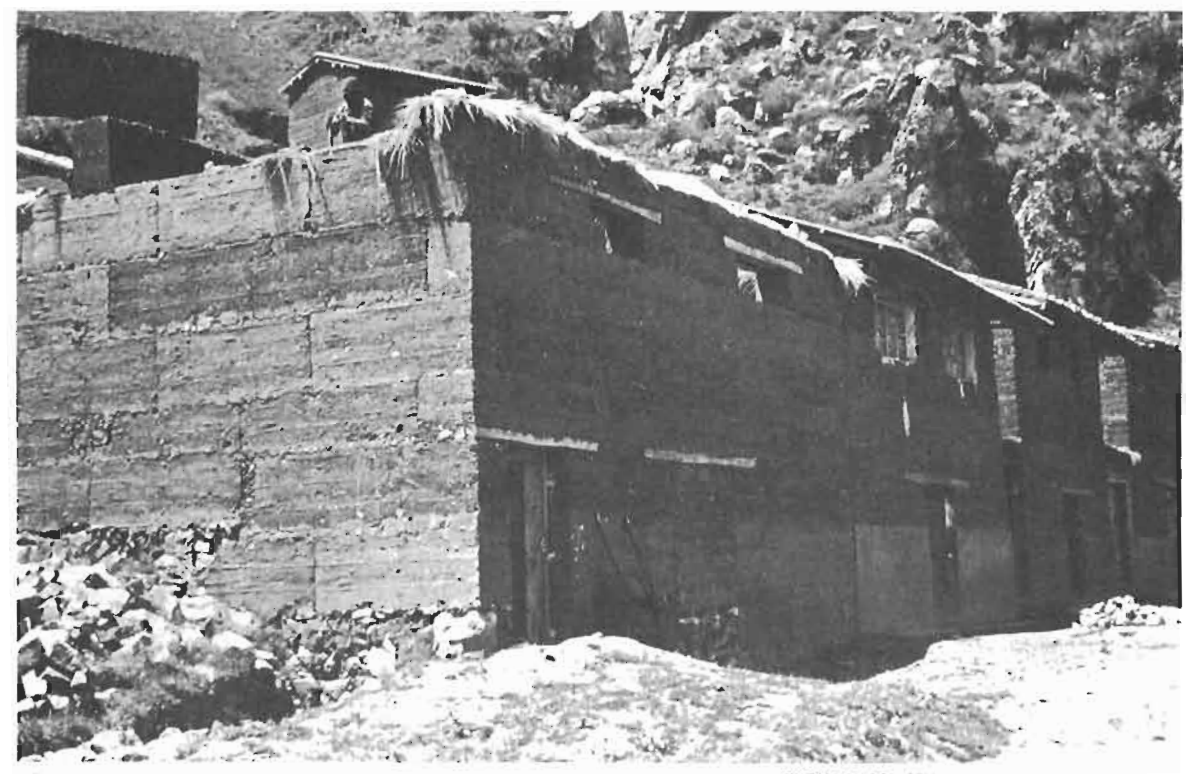


FIGURE 62 : HUANCAVELICA (PEROU)

II – ACTUALISATION DU PISE

Le pisé, employé traditionnellement dans certains pays industrialisés comme la France, a été abandonné moins pour des raisons techniques que pour des facteurs d'ordre socio-économiques.

Des recherches ont été menées après guerre, en plusieurs points du globe, pour actualiser le procédé. On cherchait un moyen de produire, en période de pénurie, un habitat à faible coût. Les besoins de reconstruction économique et durable ont fait surgir des projets officiels d'habitat en terre.

En Allemagne, plusieurs milliers de bâtiments ruraux furent prévus. On alla jusqu'à créer cinq centres dont le rôle était de fournir une aide pratique, un « savoir faire » du pisé, en encourageant l'application de technologies modernes et la formation d'entrepreneurs spécialisés.

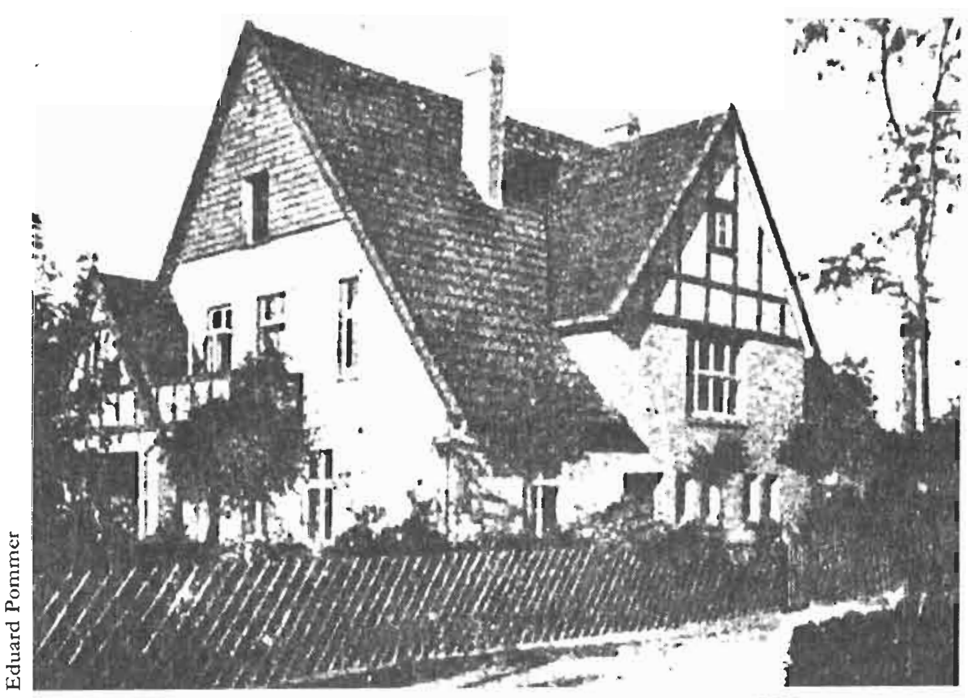

Eduard Pommer

FIGURE 65 : MAISON DE M. SIEBOLT EN PISE A BIELEFELD (ALLEMAGNE)

En France, quelques bâtiments expérimentaux virent le jour. On essaya d'implanter la technique dans des régions qui l'ignoraient comme la Somme où l'on construisit deux fermes modèles en pisé, au « Bosquel ». L'étude de ces chantiers permit d'établir les recommandations données dans le REEF.

On pourrait multiplier les exemples : U.S.A., Canada, Angleterre, Belgique, Danemark, Suède, Australie etc. Presque tous les pays industrialisés ont fait des tentatives d'actualisation de cette technique de construction.

Après le pisé, présenté sous ses formes traditionnelles, nous consacrons la deuxième partie de ce chapitre à différentes expérimentations qui ont vu le jour ces dernières années. Nous en fournissons une liste, incomplète certes, mais qui permet de situer nos idées et nos sources d'analyse technique.

FIGURE 63 : PISE AU MEXIQUE, LA TERRE EST PRISE AU PIED MEME DU MUR

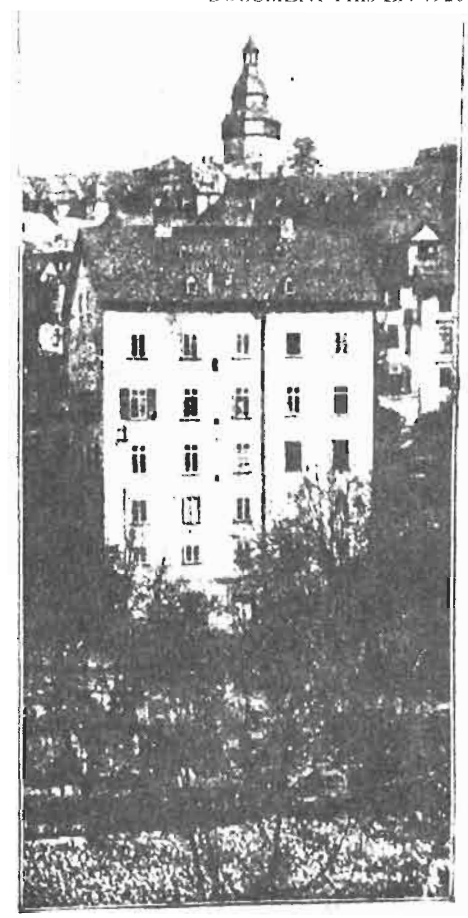
Pierre Bonneviale

PAYS	ANNEE	LIEU	PROJET
FRANCE	1945-46	Somme (près d'Amiens) Village du « Bosquel »	Reconstruction d'un village détruit à 95% en 1940. (Ministère de la reconstruction et de l'urbanisme). En fait 2 habitations + 1 grande étable + 1 bâtiment agricole furent bâtis à titre expérimental en BTS. L'étude a donné lieu aux recommandations données dans le REEF. Architectes : Dufournet. Ingénieur : Florentin.
	1946	Pas de Calais (près d'Hesdin) Village de Vacqueriette.	Projet de 12 fermes. En fait 1 ferme expérimentale. Architecte : M.Philippe. Entrepreneur : M.Dejean.
	1950	Aisne (près de Soisson) cité SNCF de Tergnier	Projet de 500 logements. En fait 1 maison Essais. Architecte : Dufournet. Entreprise Thomas-Kotland.
	1976	Isère (près de Bourgoin) Vignieu	Projet d'agrandissement de village (sans suite) Etude de faisabilité (réhabilitation) de la construction en pisé mandatée par le ministère de l'Equipement : responsable ADETEN Construction d'un petit bâtiment expérimental.
ANGLETERRE	1920	Surrey (près de Guildford) Newlands Corner	1 maison expérimentale a servi de modèle aux colonisateurs... Responsable C.Williams-Ellis.
	1927	Wiltshire Amesbury	Projet D.S.I.R. (Department of Scientific and Industrial Research) 4 habitations expérimentales (succès).
ALLEMAGNE	1945-1958		Ministère de la reconstruction. Création de cinq centres d'apprentissage sur le matériau terre. Plusieurs milliers de bâtiments ruraux ainsi que des habitations : Par ex. les maisons d'une communauté minière à Mülchen, Ecole à Wallwits, etc.
BELGIQUE	1920	Ypres Schaerbeeck et Uccle	11 maisons en pisé. Responsable MM.Holland-Hannen et Cubitts 2 groupes de pavillons. Responsable : M.Eshelly, « Terradamente » Compagnie.
DANEMARK	1929-1948	Köpenham Lyngby	1 maison en pisé. Architecte S.Risom 1 maison en pisé. Méthode « GEOTEK »
NORVEGE	1925	Mellbge Hedmark	1 maison de 200 m^2 1 ferme en pisé.
SUEDE	1921-1923	 Harpling Hallard Hedviksnäs Tibro Ostra Odarslöv Lund Igelstorp	De nombreuses réalisations en pisé furent faites. 1 maison 1 maison 1 maison 1 maison, etc.
MAROC	1967	Ouarzazate	Projet officiel d'habitat rural à moindre coût, réalisation de 5 maisons voûtées. Responsable, M.Masson – C.E.R.F.
ALGERIE	1973	Mostefa ben Brahim (près de Sidi Bel Abès)	Projet officiel – Réalisation de 30 maisons en B.T.S. dans le cadre d'un village Pilote de 300 logements. Chantier populaire de la révolution Agraire CPRA Responsables : H. Houben, P.Pedrotti, D.Belmans.
CANADA	1943	« University of Saskatchewan »	Essais et expérimentations Réalisation de murs en pisé.
U.S.A. ALASKA	1968	Anchorage	2 maisons en pisé réalisées par les « Volontaires VISTA »
U.S.A.	1935	Clemson (South Caroline)	Petit bâtiment expérimental réalisé par le « Clemson Collège Engineering Experiment Station ».
	1940	Cameron Valley (près d'Alexandria Virginia)	Ensemble d'habitations à caractère social Projet de Tom Hibben
	1959	Brookings	Essais expérimentaux par le « South Dakota State College »
AUSTRALIE	1952	Sydney	Série d'expérimentations « Commonwealth Experimental Building Station »
INDE	1950	Punjab	Projet de 4000 logements pour réfugiés. Ingénieurs : P.L.Varma M.I.E., S.R. Mehra Amice
COREE DU NORD	1955	Hamhung	Ensemble d'habitations contruites avec l'aide de spécialistes du pisé d'Allemagne de l'Est.

FIGURES 67/68 : IMMEUBLE D'HABITATION CONSTRUIT PAR WIMPPF A WEILBURG AU XIXe SIECLE

DOCUMENT PRIS EN 1920

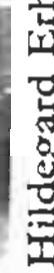
LE MEME IMMEUBLE EN 1978



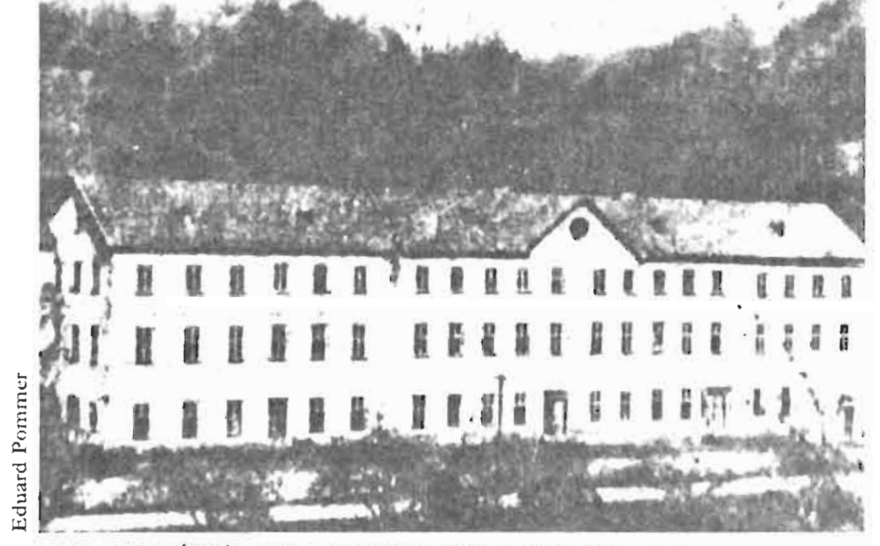
Eduard Pommer

Erdstampfbau von Wimpf in Weilburg.
Rückseite.





Hildegard Erhard



Eduard Pommer

FIGURE 66 : FABRIQUE DE CERAMIQUE (PISE) BATIE PAR WIMPF AU DEBUT DU XIXe SIECLE. APRES 45 ANS D'ABANDON TOTAL (TOIT ET VITRES BRISES), CETTE CONSTRUCTION CONSERVE EN 1920 DES MURS ET DES ENDUITS INTACTS. IL A FALLU DETRUIRE A LA DYNAMITE CETTE USINE EN PISE (STABILISE PAR LA CHALEUR DES FOURS) QUI N'EXISTE PLUS DE NOS JOURS.

" Non ! Rien n'est meilleur marché que la maison en Pisé.

Le pisé qui exclut tous les matériaux.

Le pisé avec lequel on peut bâtir en tout lieu et par tout pays, est un présent que Dieu a fait à tous les peuples.

Si l'Agriculture est la base de toutes les sciences, le Pisé est aussi le premier de tous les arts !

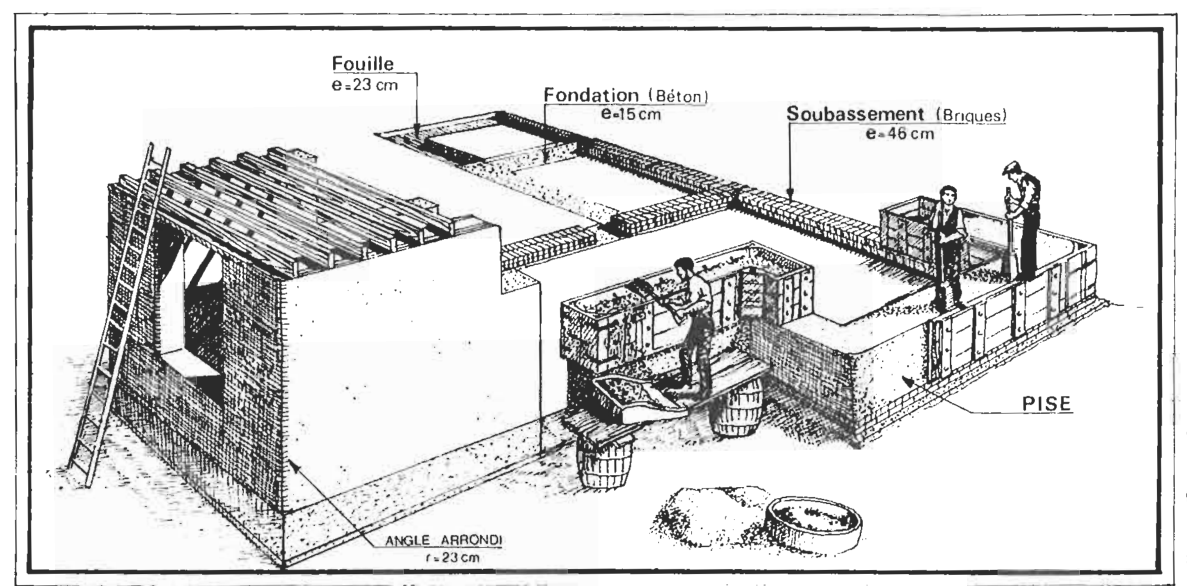
Que mes concitoyens vantent le bien que mes différents et nouveaux procédés peuvent leur procurer...

(...)

Par quelle fatalité cet art est-il donc resté circonscrit dans une Province ? Pour quoi même aujourd'hui est-il oublié ou ignoré presque de tout l'univers ? L'Art précieux du Pisé est pour une nation éclairée un moyen sûr de faire fleurir son commerce et son industrie pour le service et pour le bonheur des hommes, pour soulager l'humanité souffrante... (...)

Le citoyen Cointereaux
(Ecole d'Architecture Rurale - Paris - 1790)

FIGURE 64 : ELEVATION D'UNE MAISON EN PISE EN GRANDE-BRETAGNE



Notre expérience à Vignieu (1976) et le chantier de Mostefa Ben-Brahim (1973), nous servent de référence pour un avis plus objectif sur les différents points traités. On trouvera une description plus complète de ces chantiers en fin de chapitre.

Lorsqu'on veut « réhabiliter » le pisé, il faut reconsidérer les problèmes liés au matériau et à sa mise en œuvre, à savoir :
- le choix de la terre
- la stabilisation
- le compactage
- les fondations
- le banchage et les problèmes afférents à la mise en œuvre.

PROBLEMES DU MATERIAU

1. Le choix de la terre

Essentiellement liées aux recherches concernant les travaux publics (route etc.), les études de mécanique des sols, relativement nouvelles, permettent de choisir une terre, d'en déterminer sa granularité et éventuellement de la corriger (cf. chapitre : « stabilisation »). Les caractéristiques d'un sol (par exemple sa teneur en eau optimum, très importante pour le pisé) peuvent être déterminées par des essais exposés au chapitre « Analyse des sols ». Rappelons simplement que la terre destinée au pisé est employée sous un état « sec ».

2. Stabilisation

Dans toutes les expérimentations on a stabilisé la terre. Les stabilisants, employés jusqu'ici pour le pisé, sont le ciment et la chaux. Une étude complète sur les stabilisants est faite au chapitre consacré à la « Stabilisation ». Cette stabilisation a donné naissance à toute une série de noms qui désignent, en fait, le même procédé. Ainsi pour « pisé stabilisé » on trouve les termes de B.T.S. (Béton de Terre Stabilisée), Terracrete, Géobéton, procédés Géoteck, Mécater, Terradamente etc.

3. Le compactage

Le compactage est une phase fondamentale de la construction en pisé. Un travail de recherche a été effectué sur des outils adéquats et des essais comparatifs ont eu lieu dans plusieurs pays.

LE COMPACTAGE

A. COMPACTAGE MANUEL

Les pisoirs utilisés traditionnellement en Suède, Australie, Brésil etc. avaient des formes assez différentes **(planche 69).** Certains ont une extrémité en forme de coin, d'autres ont un bout plat. En Suède, on devait utiliser 3 sortes de pisoirs suivant le travail à effectuer – damage le long de la banche, dans les coins ou au milieu. D'autres pays comme le Brésil se contentent d'un seul outil.

Plusieurs facteurs interviennent dans le choix d'un pisoir : son poids, sa section de frappe, la nature du manche et sa taille, la nature de la dame, la forme de la dame.

a) Le poids optimum de la dame est de l'ordre de 5 à 9 kg. Cependant son poids peut varier suivant la taille ou la force du piseur. On peut observer la règle suivante, indiquant le poids d'une dame par rapport à sa section de frappe : 80 à 250 g/cm^2 (Le « Centro régional de Ayuda Technica, « Mexique, indique 100 à 140 g/cm^2, ce qui est inclu dans l'intervalle pré-cité).

b) La section de frappe se situe de préférence aux alentours de 64 cm^2 (8 × 8) et ne dépassera jamais, en principe, 225 cm^2 (15 × 15) (dame australienne).

c) Le manche peut-être de bois lisse (matériau fragile) ou de métal (plus résistant). On peut aussi utiliser des tubes métalliques creux (ø = 4 cm) qui permettent un lestage de l'outil à volonté. La taille du manche se situe entre 1,50 m et 1,80 m.

d) La tête de frappe se fait en bois ou en métal. Pour éviter une usure trop rapide ou un fendillement, il est nécessaire de protéger la surface de frappe des dames en bois, soit par une plaque métallique, soit par une garniture de clous.

Les dames en bois sont d'une exécution facile et on peut en faire sur le chantier à la demande, au profil souhaité et en fonction du travail à accomplir.

Les dames métalliques sont plus maniables car leur tête est plus petite. Il existe également de très bonne dames résistantes, qui sont en fonte.

e) La forme de la dame. Il existe de nombreuses formes de dames dont l'intérêt et les avantages sont discutés. Les dames rondes abîment moins les banches mais le compactage près de celles-ci est moins efficace. Dans tous les cas un arrondissement des arêtes est souhaitable : il évite d'endommager le coffrage ou de se blesser. Traditionnellement on pensait obtenir les meilleurs résultats avec des pisoirs à tête de coin. Le South Dakota State College (U.S.A.) a expérimenté de nombreuses formes de dames **(fig. 70 A1)**.

L'expérience consiste à damer, à l'aide des différents pisoirs, 5 blocs expérimentaux dosés à 37,2 % de sable. Ensuite, un essai de résistance à la compression de ces blocs est effectué en laboratoire.

En voici les résultats :

- Pour une forme de la dame avec extrémité plate 180° la résistance à la compression (moyenne) est de 35 kg/cm^2
- Avec une extrémité en angle de 120°, elle est de 35 kg/cm^2
- Enfin, avec une extrémité en angle de 90°, on obtient 25 kg/cm^2

Du point de vue résistance, les pisoirs à tête plate donnent des résultats sensiblement meilleurs que ceux à tête cônique.

Les Anglais (R.I.B.A.), par contre, donnent leur préférence aux pisoirs en forme de coins **(fig. 70 B, pisoir de droite).** Une forme intéressante de pisoir a été imaginée par le « Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics » **(fig. 70 C).** Elle présente certains avantages. Elle est d'abord facile à tailler dans un bout de madrier. D'autre part on obtient des parements plus lisses qu'avec une dame plate en tenant la face verticale la plus haute contre les parois.

Comment l'utiliser ? Procéder avec une équipe de trois piseurs se suivant le long de la banchée, un contre chaque paroi avec cette dame et un troisième au centre avec un pisé ordinaire. Les poussées sur les coffrages doivent être plus réduites car les deux premiers piseurs, en damant la terre contre les parois, renforcent l'efficacité du coffrage. Une dame à masse coulissante **(fig. 70 D)** expérimentée aux U.S.A. que nous indiquons pour information, ne présente pas d'avantage particulier à nos yeux.

De la façon dont le pisoir est utilisé dépend évidemment la qualité du pisé. Expérience du « South Dakota State College » : on a expérimenté 3 manières d'utiliser une même dame sur une série de 5 blocs à chaque essai :

1) La première série de 5 blocs fut exécutée en lâchant la dame d'une hauteur de 10 cm sans faire de pression sur celle-ci.

2) La deuxième série de 5 blocs fut exécutée en lâchant la dame d'une hauteur de 15 cm en faisant une très légère pression à chaque coup de dame.

3) La troisième série de 5 blocs fut exécutée

PISOIRS

R D A

Suède

Australie

1.45

1.60

30

4

8

16

1.60

30

12

11

14

1.50

R D A

a b c

1.20

.24

Brésil

.30

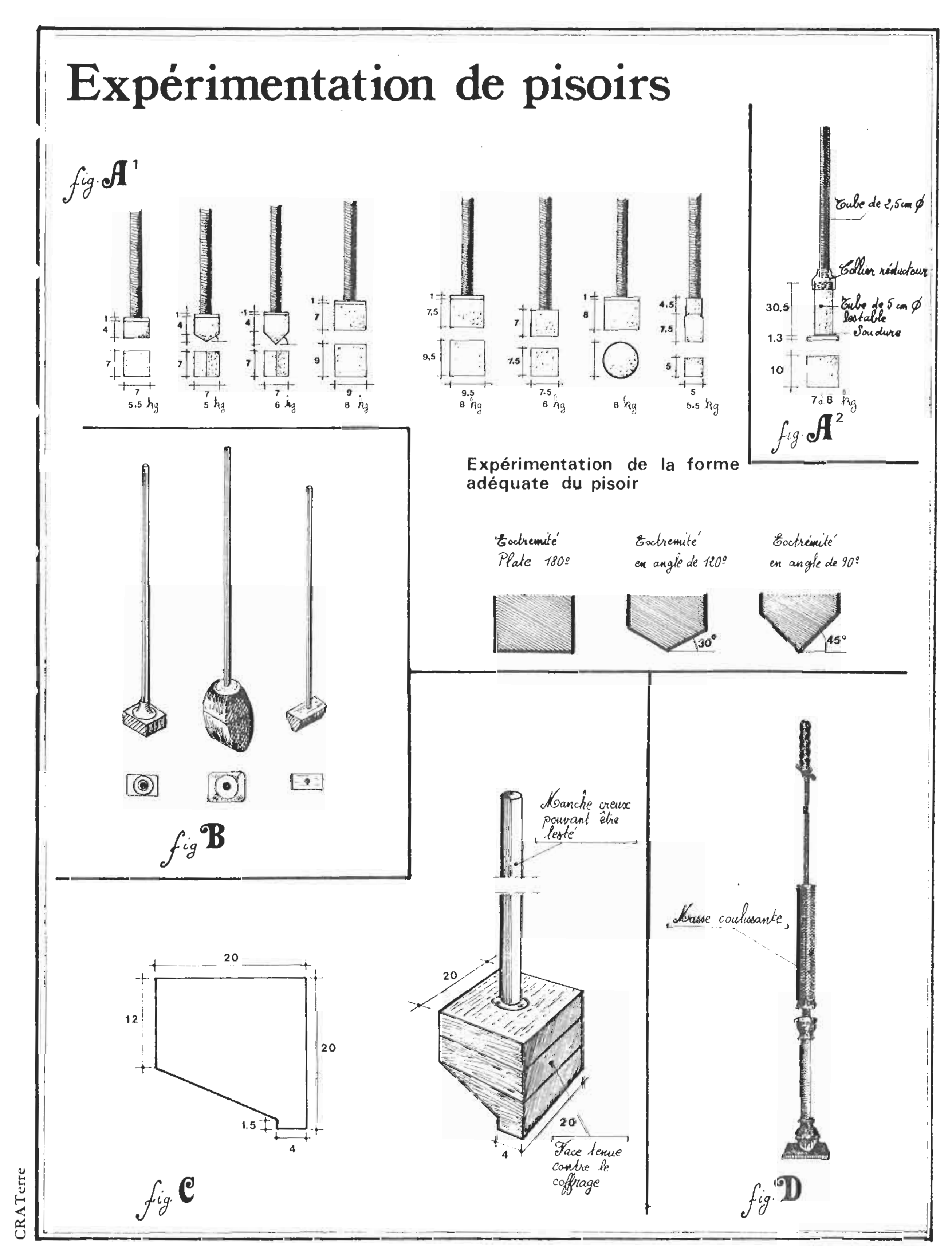
.15

.15

Norvège 1925
Construction d'une maison en Pisé de 200 m²
pour un notable à Mellbye

Australie

Expérimentation de pisoirs



en lâchant la dame d'une hauteur de 30 cm avec toute la force possible à chaque coup.

On fit ensuite des essais de résistance à la compression sur les 3 séries de 5 blocs. Résistance à la compression obtenue en moyenne :

1re série : 6,5 kg/cm²
2me série : 13 kg/cm²
3me série : 27,5 kg/cm²

Quinze ans plus tard, le mur réalisé avec le compactage de la 2me série était encore satisfaisant. On voit donc qu'un compactage énergique joue un rôle dans la résistance du matériau. Toutefois un compactage plus brutal n'est pas nécessaire pour le pisé bien qu'il augmente sa résistance à la compression.

Selon cette étude, une petite pression est nécessaire, particulièrement au début et à la fin du compactage de chaque couche. Sans aucune pression, le fond de la couche damée ne serait pas assez compacté. La résistance à l'érosion dépend probablement de l'intensité du compactage.

Les dames à main ont une pression statique moyenne de 0,10 à 0,25 kg/cm². Elles permettent en général le compactage d'une couche de terre de 10 cm d'épaisseur. Cependant, pour ne pas prendre de risque et avoir un compactage uniforme, il est prudent de limiter cette hauteur à 5 ou 7 cm de terre compactée. On arrête le compactage d'une couche lorsque la dame ne laisse plus d'empreinte marquée sur la surface damée, la chute du pisoir produisant alors, à ce moment, un son mat.

B. COMPACTAGE MECANISE

Pour faire un choix judicieux de l'outil adéquat, les essais pratiques sur chantier sont indispensables. L'énergie de compactage d'un engin est fonction de multiples facteurs :

- le nombre de passes optimum réalisables ;
- la vitesse de progression souhaitable ;
- l'épaisseur optimum de couche meuble à compacter en une fois.

D'autres données, telle l'intensité des pressions transmises par l'engin au sol, sont des phénomènes physiques dynamiques assez complexes à établir qui renseignent sur l'opportunité d'emploi de tel ou tel appareil.

Le nombre de passes (N)

Il dépend à la fois de l'engin **(fig. 71)** et du sol. Au début du compactage une relation linéaire entre celui-ci et la densité sèche obtenue atteint une limite. Au bout d'un certain nombre de passes, il est inutile de continuer à compacter. Pour obtenir, une densité sèche plus importante il faut recou-

FIGURE 71

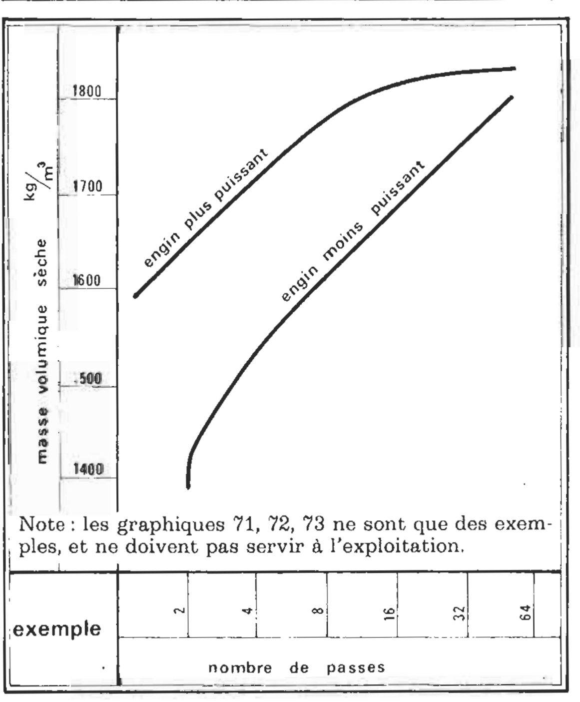
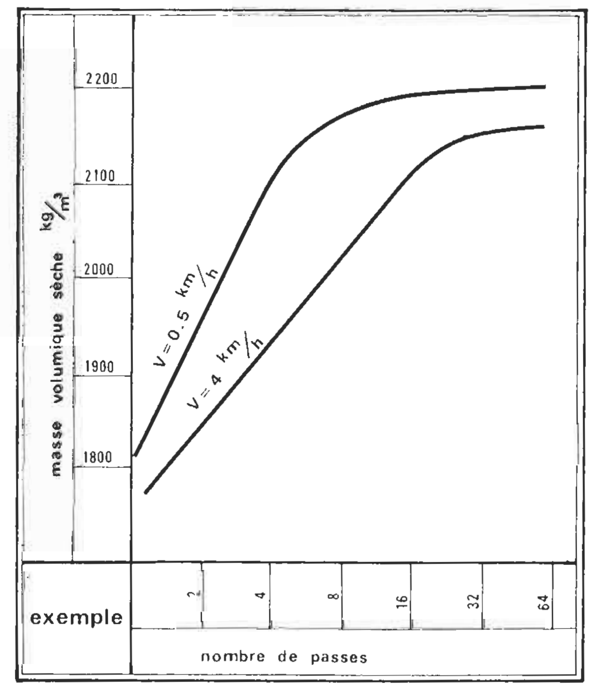


FIGURE 72



rir à un engin plus puissant. La pente de la droite et le nombre de passes minimum ne peuvent être déterminés que sur expérience.

La vitesse de passage (V) (fig. 72)

Le nombre de passes nécessaires pour atteindre une bonne « densité sèche » augmente avec la vitesse ; mais quelle qu'elle soit, la compacité finale est à peu près constante. Il est à noter que le nombre de passes n'augmente pas proportionnellement avec la vitesse, surtout si celle-ci est faible. La vitesse optimum est à rechercher dans chaque cas particulier.

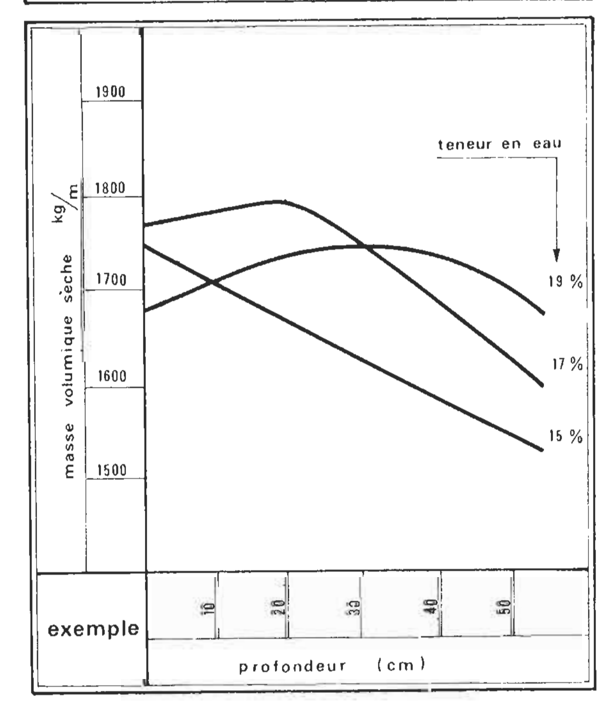
La capacité horaire (C)

La capacité horaire (C) est fonction du rapport $\frac{V}{N\ mini}$. Elle est d'autant plus élevée que le rapport $\frac{V}{N\ mini}$ est grand.

Le gradient de compacité

Il est intéressant de déterminer le gradient de compacité, c'est-à-dire la variation de la « densité sèche » par rapport à la variation en profondeur de la terre compactée, ceci pour obtenir l'épaisseur maximale de la couche meuble **(fig. 73).**

FIGURE 73



1) Si la teneur en eau est inférieure à la teneur optimum, la densité sèche décroît presque linéairement avec la profondeur.
2) Si la teneur en eau est supérieure ou égale à la teneur optimum, la densité sèche reste pratiquement constante (gradient = 0) jusqu'à une certaine profondeur et ensuite décroît linéairement.
3) Si la teneur en eau est largement supérieure à la teneur optimum, la densité sèche est inférieure à la densité sèche maximale mais elle reste pratiquement constante (Gradient = 0) jusqu'à une très grande profondeur.

Les engins de compactage que l'on peut utiliser pour le béton de terre sont généralement ceux en usage dans les travaux d'aménagement routier ou dans les fonderies. Comme nous nous intéressons à l'habitat, nous n'aborderons pas dans le détail les engins lourds.
Rappelons pour mémoire (dans le cas de routes d'accès, aires, placettes, cours, etc.):

- Les rouleaux lisses qui compactent par pression statique à peu près 20 à 25 cm de terre meuble en 8 à 15 passes.
- Les rouleaux vibrants dont la charge linéaire est de 10 à 25 kg/m qui fonctionnent à une fréquence de 1200 à 3600 cycles/mn à amplitude variable.
- Les rouleaux à pieds de mouton qui exercent des pressions de 7 à 14 kg/cm^2 sur des couches de 20 cm de terre maximum. Ils ont l'avantage de compacter la terre par endessous et de monter graduellement jusqu'à sortir de la couche de terre.
- Les rouleaux à pneu : d'une charge de 1 à 2t/pneu, ils compactent, en 10 à 15 passages, 15 à 25 cm de terre.

Pour le béton de terre, banché employé dans la construction, il convient de choisir un équipement léger facilement manipulable. Deux types d'engins peuvent être envisagés :
– ceux qui compactent par impact ;
– ceux qui compactent par vibration.

ENGINS DE COMPACTAGE PAR IMPACT

Fouloirs pneumatiques

On se sert de ces outils en fonderie pour tasser le sable dans les châssis à mouler. Les fouloirs d'établis sont trop petits pour édifier les murs ; seuls les fouloirs de « sol » nous intéressent. On en trouve sur le marché (Atlas Copco, Ingersoll-Rand, etc.).

Ces fouloirs doivent avoir une longue course, une frappe puissante et une alimentation modérée en air.

La pression d'air doit atteindre 5 kg/cm^2.

Les fouloirs pneumatiques peuvent avoir des pressions statiques de l'ordre de 0,45 kg/cm^2.

Le nombre de coups peut varier de 400 à 700/mn. Il en résulte un compactage très énergique.

On a constaté que les murs compactés au fouloir pneumatique ont une densité sèche remarquablement uniforme alors que le pilonnage manuel donnait un résultat très irrégulier.

Les pilonneuses vibrantes

Elles ont une pression statique de 0,05 à 0,10 kg/cm^2. Mais cet inconvénient est compensé par une fréquence très haute de coups par minute (de 500 à 1000). La profondeur de compactage du niveau AASHO standard atteint 30 cm et le poids se situe entre 60 et 100 kg.

La course est faible (35 à 40 mm) et la vitesse d'avancement de l'ordre de 13 m/mn. En général on compacte 15 cm en 4 passes. Le rendement est d'environ 7 m^3/h.

Ces engins, dont l'encombrement n'est pas énorme, peuvent être employés dans certains types de banche. Leur poids en font généralement des outils plus adaptés au damage des planchers, espaces réduits etc. Nous donnons un tableau récapitulatif des fouloirs pneumatiques et des pilonneuses vibrantes dont nous avons expérimenté certains modèles **(fig. 75-76).**

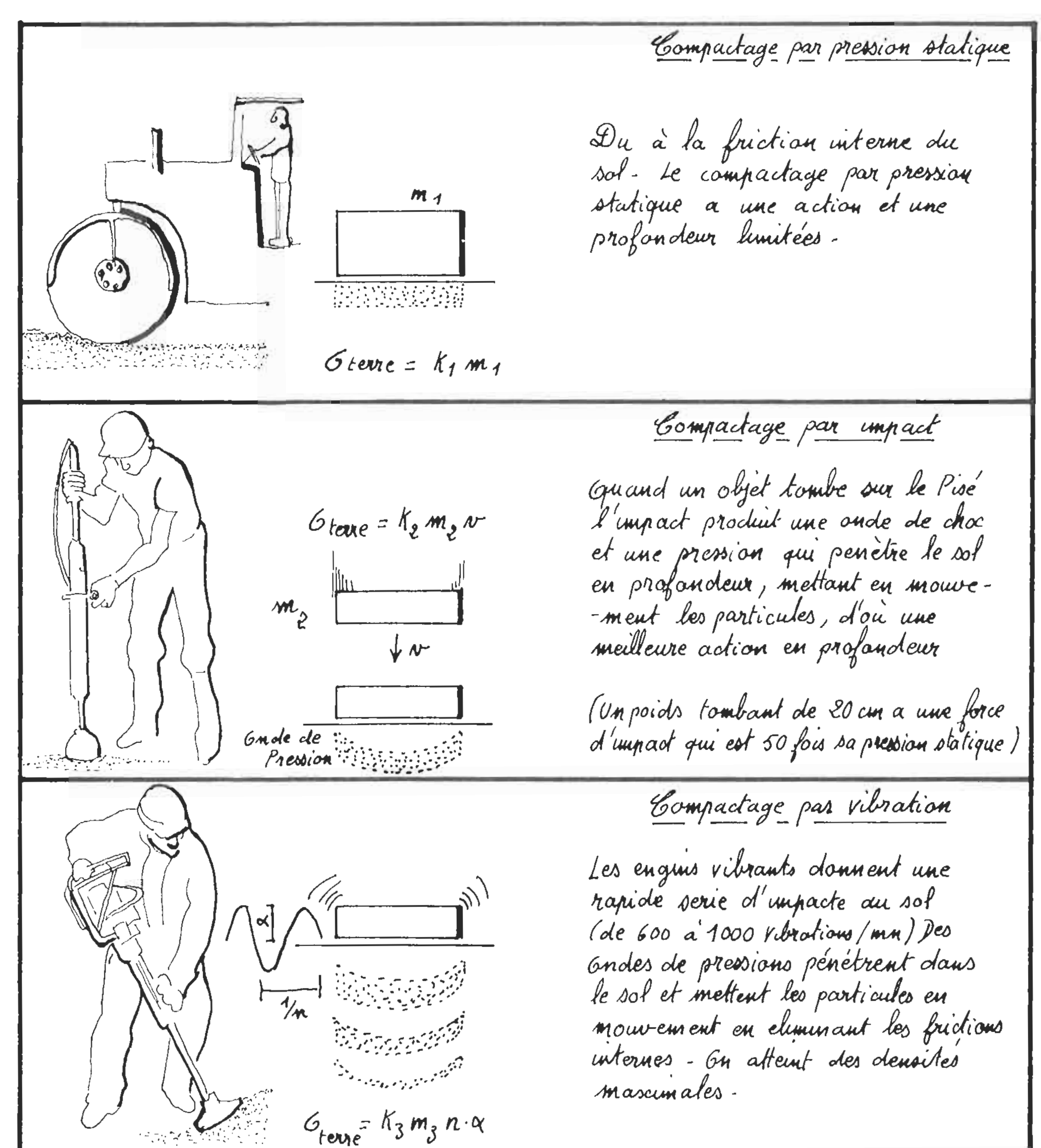


FIGURE 74 : LES DIFFERENTES METHODES DE COMPACTAGE

FIGURE 75

TYPE	Foulois Pneumatiques		
Nom du Fabriquant	Atlas Copco	Atlas Copco	Outiperret
Appellation	RAM 30	RAM 20	OPFL 3
Poids (kg)	18,5	10,9	14,5
Hauteur (m)	1,23	1,31	1,20
Fréquence nbr de coup/mn	440	700	400
Course (mm)	284	203	
Consommation	0,8 m^3 air /mn		1,1 m^3 air/mn
Prix 1976	3400 F	2000 F	1650 F
Dimension du Mattoir cm	ϕ 145 mm	ϕ 75 mm	carré 70×70 mm
Commentaire	Donne Satisfaction Très bon compactage Facile à manier quoiqu'un peu lourd Surpuissant pour l'usage qu'on en fait Voir notre experience à Vignieu	Surface d'Impacte trop petite d'où un effet de poinçon-nement Il faudrait l'experimen-ter en changeant la dimension du mattoir	Maniable et léger Sa surface d'Impact est trop petite A experimenter en changeant le mattoir

TYPE	Fouloir Pneumatique	Pilonneuses Vibrantes	
Nom du Fabriquant	George Renaud	Wacker-France	Wacker-France
Appellation	F 18	BS 50	BS 20
Poids (kg)	10,8	55	26
Hauteur (m)	1,14	1,16	1,02
Fréquence nbr de coup / mn	600	500-630	850-900
Course (mm)	163	45 Max	42 Max
Consommation	0,8 m³ air / mn	1,2 l/h Melange Huile / essence	1,2 l/h Melange Huile / essence
Prix 1976	1400 F	5000 F	4113 F
Dimension du Mattoir cm	Ronde ∅ 95 Carrees 100 x 100, 130 x 130 Rectangul. 25 x 78, 35 x 120	320 x 280 mm	Echangeable
Commentaire	Engin non experimenté Semble convenir à voir ...	Engin trop lourd pour être manipulé dans des banches Peut servir pour des planchers R.D.C. - placette - cour - patio .... etc.	Plus lourd qu'un fouloir pneumatique → manipulation peu aisée dans des espaces reduits Course tres faible et haute frequence risquent d'opérer un compactage trop brutal - et des phenomènes de résonnance ...

Marteaux piqueurs pneumatiques équipés de dame

Ils sont à proscrire car leur course est très faible et leur fréquence élevée (environ 800 coups/min.). Le compactage, trop brutal, provoque souvent un délogement des couches compactées et des phénomènes de résonnance. De plus, ces engins pèsent de 15 à 25 kg et sont très fatiguants à manipuler. Il est à noter que les têtes des dames doivent être d'une seule pièce (en fonte) sinon les soudures ne résistent pas aux vibrations.

LES FONDATIONS

Comme les murs de terre sont épais, la largeur de leurs fondations a une répercussion certaine sur le coût de l'habitat. Aussi convient-il de choisir les solutions technologiques les plus économiques.

On rappelle **(fig. 77 A)** qu'une fondation doit être suffisamment résistante aux efforts du bâtiment, servir de chaînage, être assez profonde pour se trouver « Hors gel » (hauteur H2) et dépasser du sol pour former un soubassement (hauteur H1 = 50 cm). Dans tous les cas un bon drainage du terrain est indispensable.

Les matériaux de la fondation peuvent être :
- du béton (armé ou non) ;
- une maçonnerie de briques, moellons, parpaings de ciment etc.
- du béton de terre fortement stabilisé, damé ou sous forme de briques.

Le sommet du soubassement **(fig. 77 B)** ne doit pas dépasser la face extérieure du mur, pour éviter que le rejaillissement de l'eau de pluie ne dégage la base du mur. Une feuillure de 5 cm de haut sur 3 cm de profondeur forme un larmier et constitue une précaution supplémentaire. Il est important de recouvrir le dessus du soubassement d'un matériau étanche aux remontées capillaires : bitume, feutre asphalté, produit naturel étanche (latex, gomme...), pierres plates (ardoises, lauzes...).

Le plancher du rez-de-chaussée repose directement sur le soubassement ou sur des poutres indépendantes.

Afin d'économiser le matériau, différentes solutions ont été envisagées **(fig. 77) :**
D : Soubassement et fondations trop larges (source Dufournet CSTB).
E : Fondation économique (Source Dufournet CSTB).
F : Pose du plancher sur poutres indépendantes (Source : Commonwealth Experimental Building – Australie).
G : Soubassement plus économique (Source : Commonwealth Experimental Building Station).
H : Coffrage difficile à réaliser (Source : South Dakota State College – Etats-Unis).

LE BANCHAGE

Elément essentiel de la technique du pisé, la banche tient un rôle de premier plan dans la mise en œuvre du matériau et donc aussi dans le coût du bâtiment. Sa conception doit être étudiée dans les moindres détails et il convient de tenir compte de tous les points que nous allons expliquer à l'aide de planches montrant chacune un type particulier de banche.

1) Solidité

Une banche, doit être solide car elle subit des efforts très supérieurs à ceux du béton. Deux solutions peuvent être envisagées :
- l'une consiste à employer des panneaux épais (utilisation de planche de 4 à 5 cm d'épaisseur par exemple) ;
- l'autre consiste à rendre rigides des panneaux plus légers (multiplication de clés, traverses etc. ou ossature intégrée).

Les panneaux de contreplaqué **(fig. 102)** que nous avons utilisés à Vignieu avaient 15 mm d'épaisseur ; celle-ci étant insuffisante, ils présentaient une flèche de 1 cm entre les montants verticaux distants de 65 cm. Les découpes à la base des panneaux les affaiblissent.

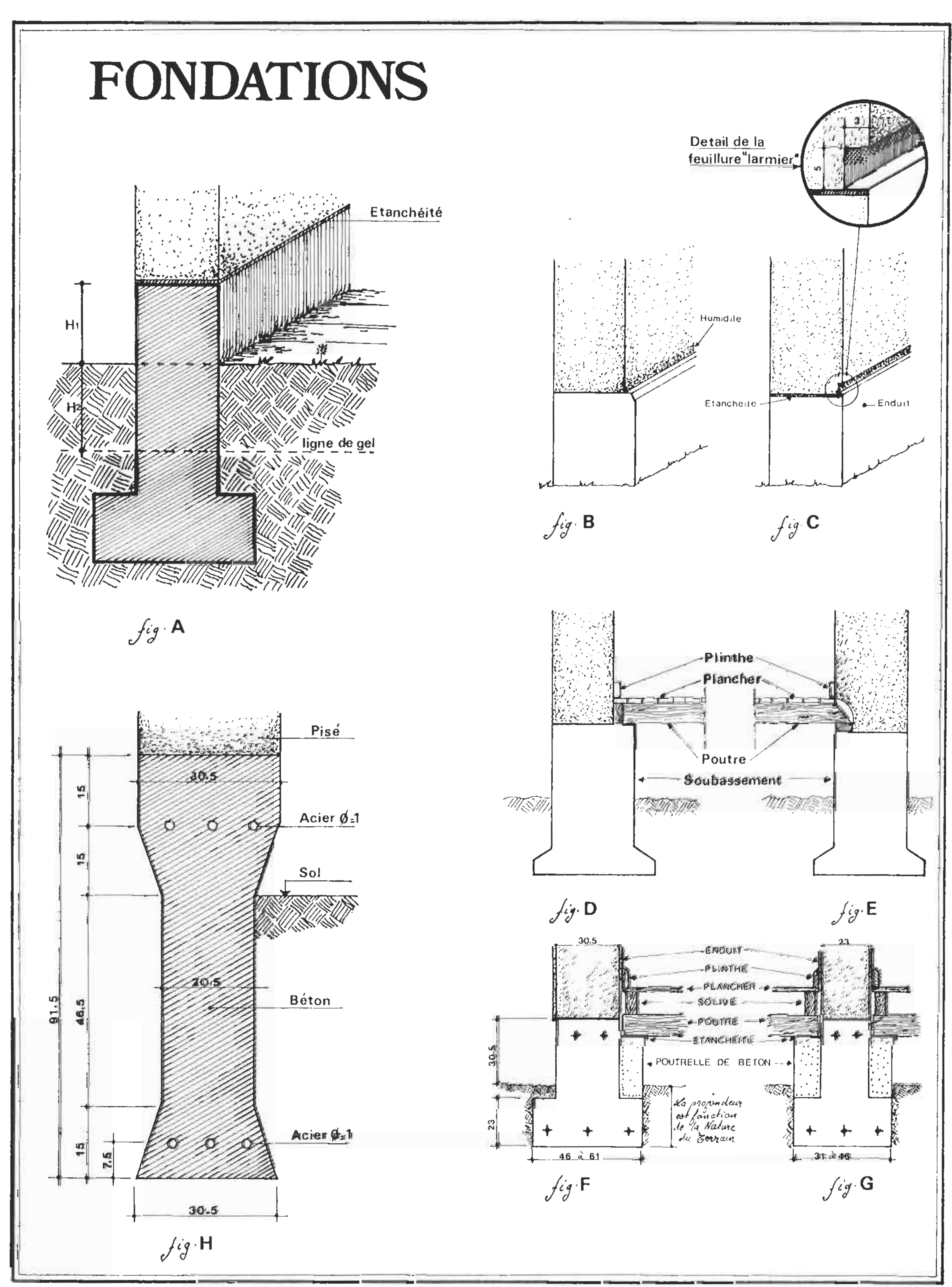
2) Stabilité

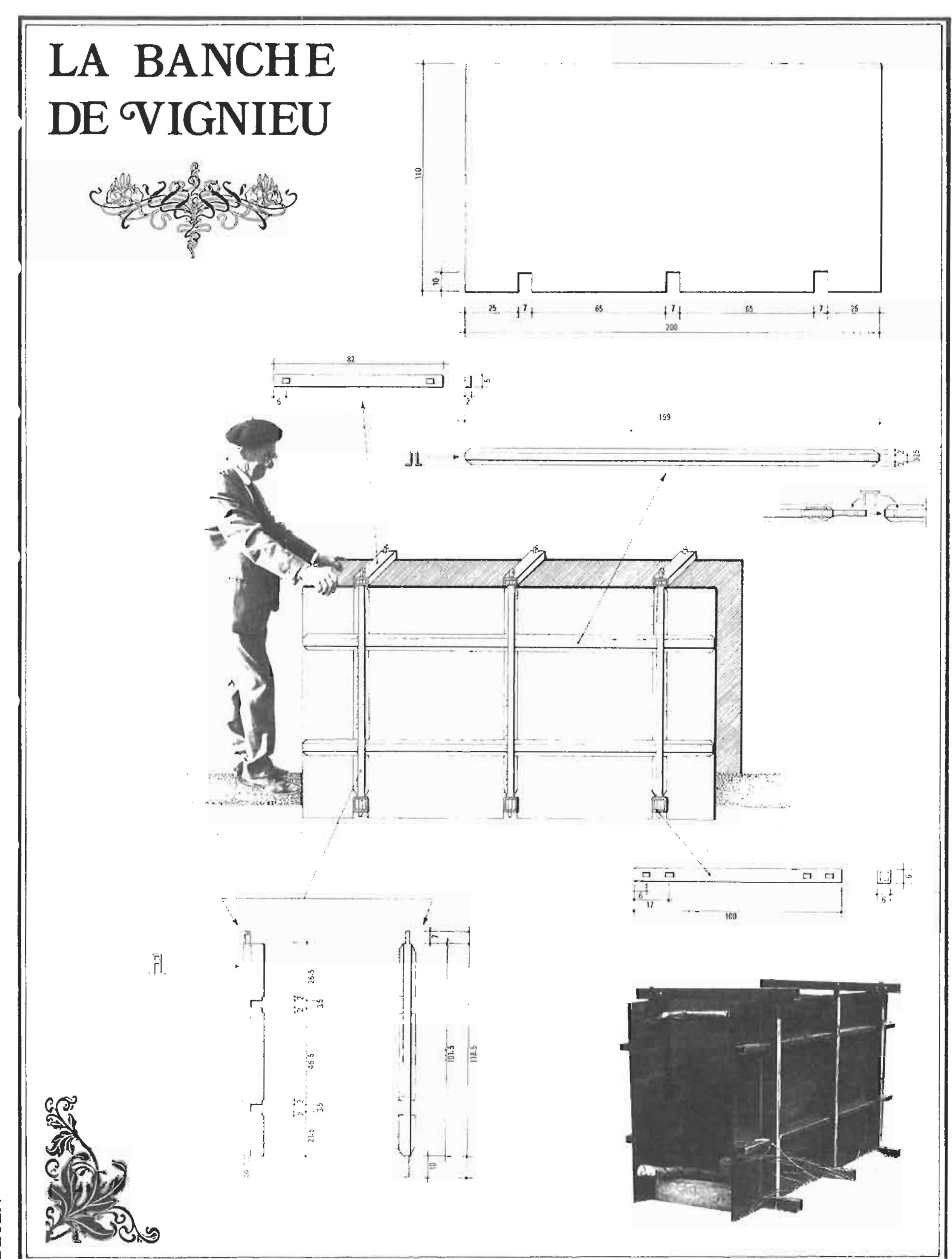
Il faut tenir compte des vibrations occasionnées par un compactage mécanique. Elles peuvent en effet, déplacer la banche. Un damage plus important sur un côté que sur l'autre risque aussi de la déplacer. Pour garder sa stabilité, la reprise sur l'assise inférieure doit être de 15 à 20 cm **(fig. 89 L)**. Cette banche roulante a une bonne reprise de 19 cm. Il en va de même pour la reprise verticale de la banchée précédente située sur la même assise.

L'étayage extérieur que nous avons dû utiliser à Vignieu est long à réaliser. Il nous a occasionné une perte de temps non négligeable et nous pensons que c'est un palliatif à éviter.

SUITE DU TEXTE EN PAGE 69




FONDATIONS
Etanchéité
H1
H2
ligne de gel
fig. A
Detail de la feuillure "larmier"
3
5
Humidite
fig. B
Etancheite
Enduit
fig. C
Plinthe
Plancher
Poutre
Soubassement
fig. D
fig. E
Pisé
30.5
15
Acier Ø 1
15
Sol
91.5
46.5
20.5
Béton
15
7.5
Acier Ø 1
30.5
fig. H
30.5
23
ENDUIT
PLINTHE
PLANCHER
SOLIVE
POUTRE
ETANCHEITE
POUTRELLE DE BETON
30.5
23
La profondeur est fonction de la Nature du Terrain
46 à 61
31 à 46
fig. F
fig. G


LA BANCHE
DE VIGNIEU
110
10
25
7
65
7
65
7
25
200
82
6
159
100
17
26,5
3,5
46,5
3,5
21,5
7
101,5
118,5
10

ADETEN

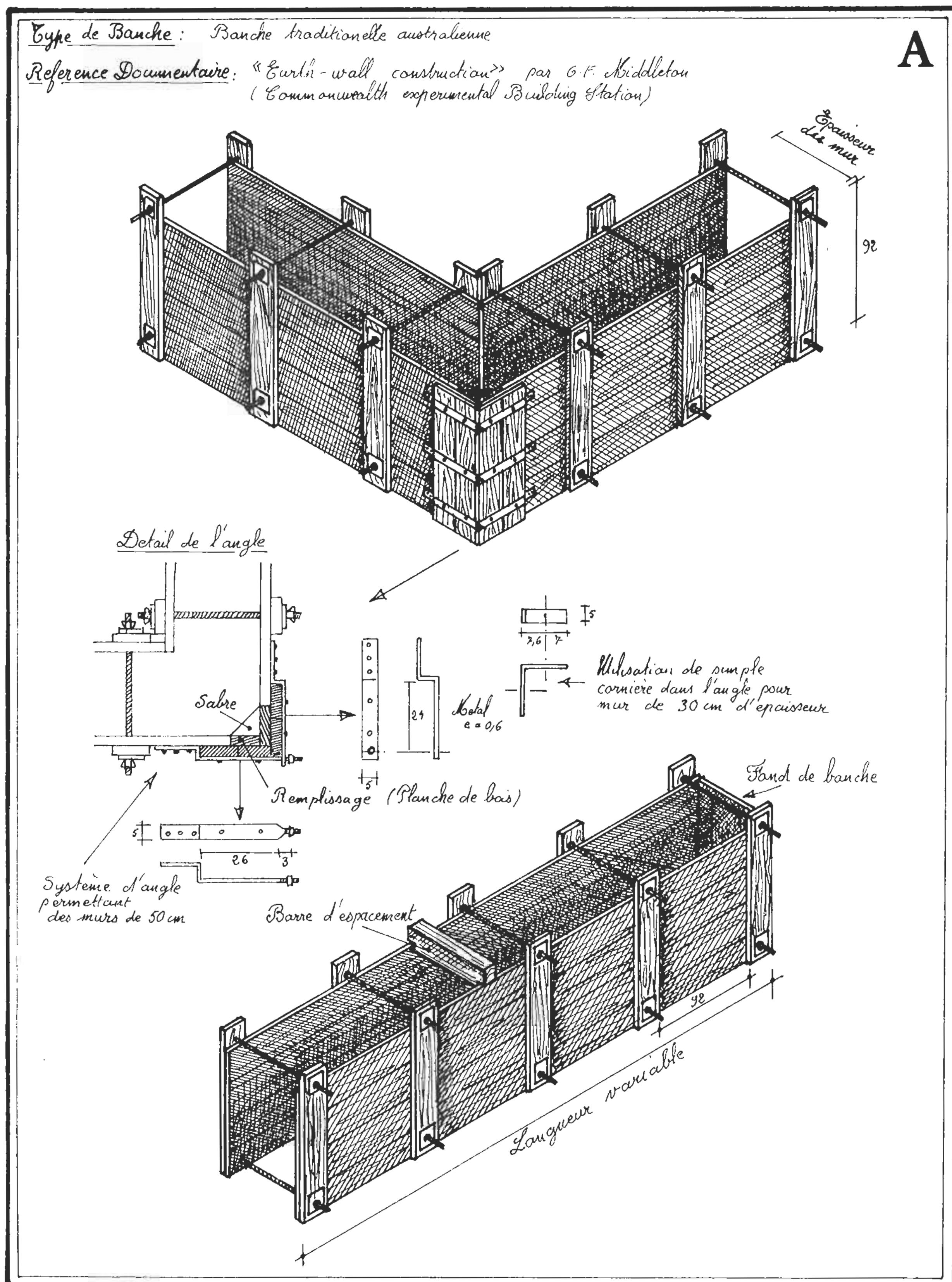
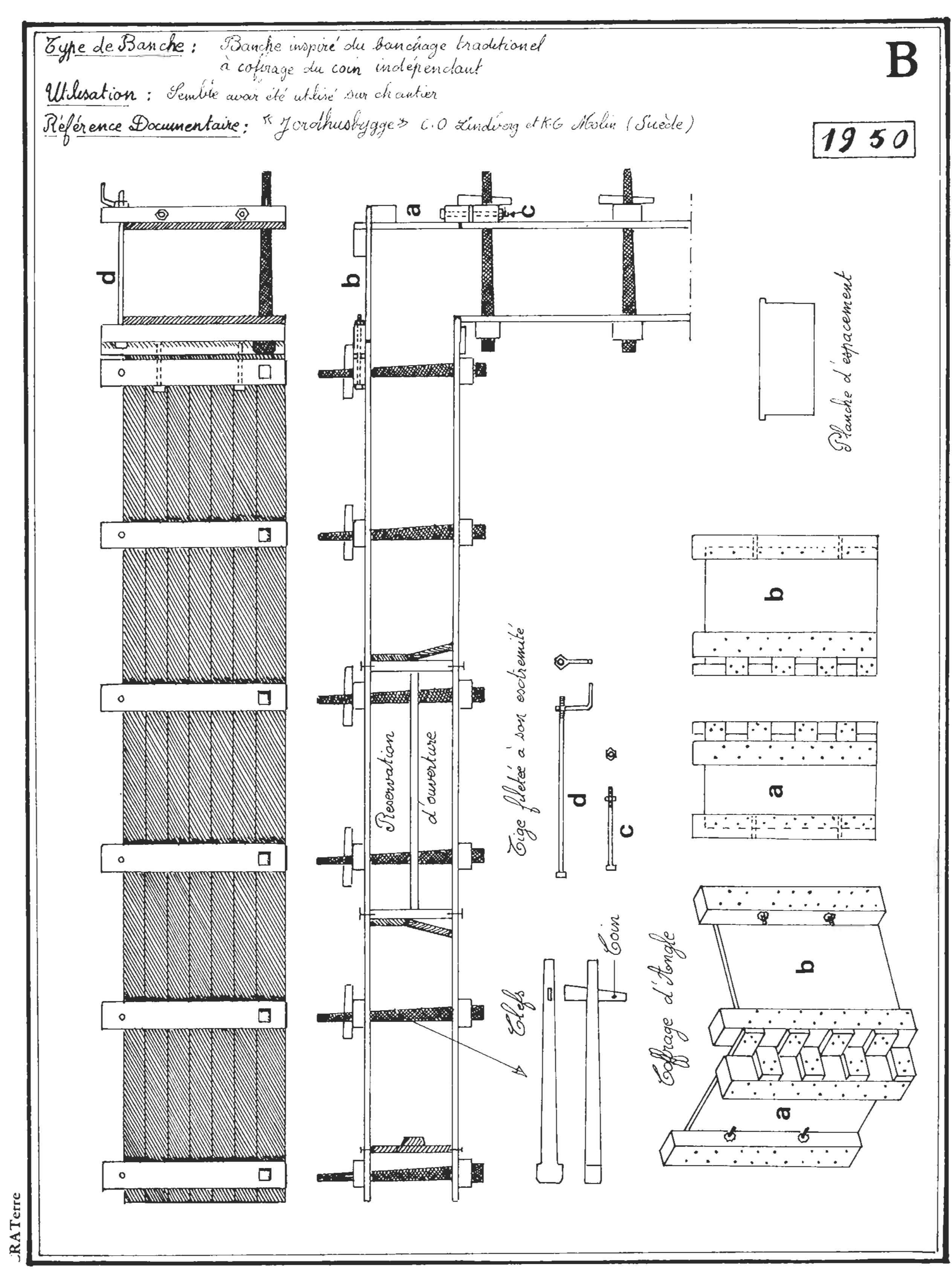
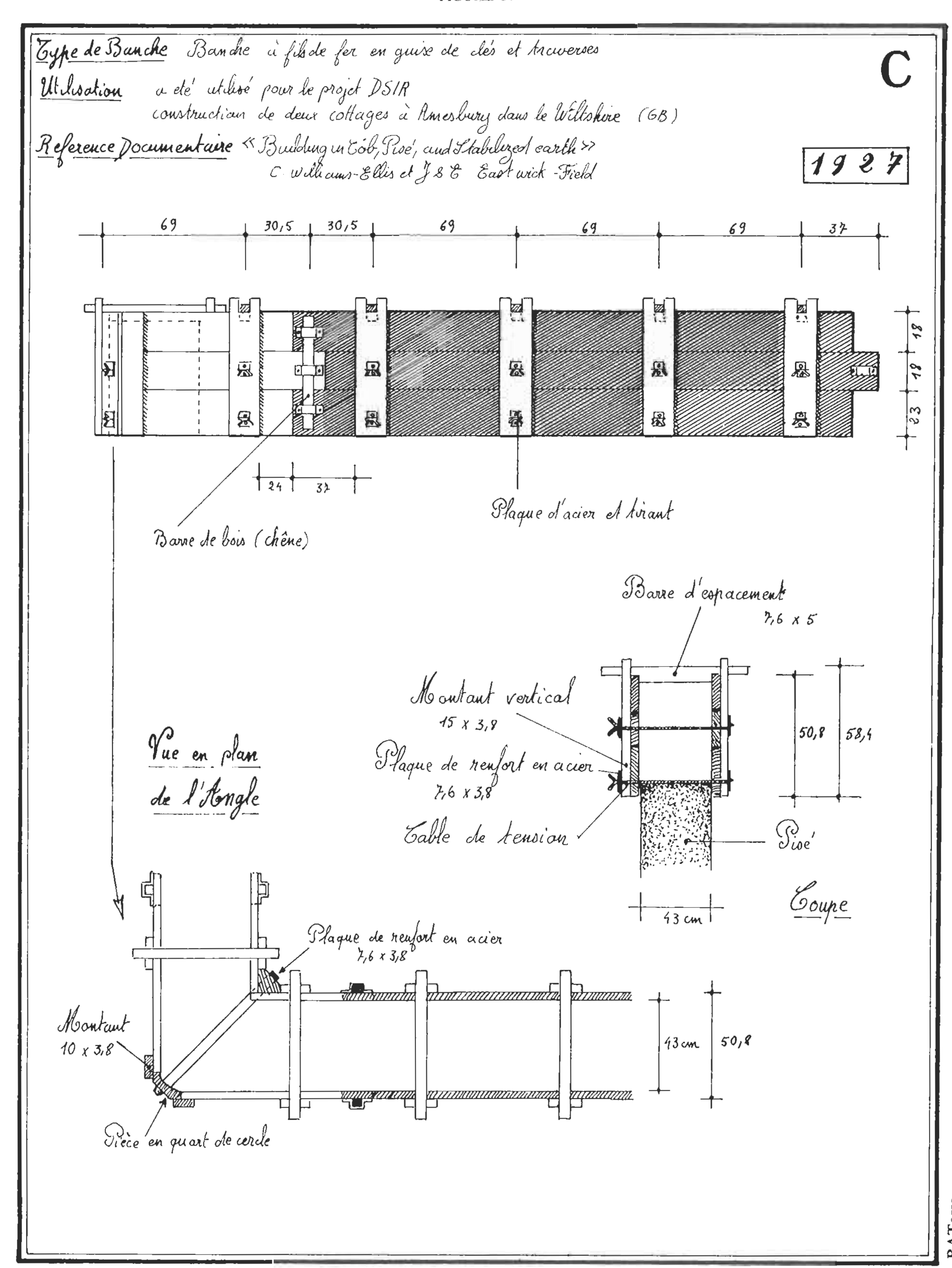
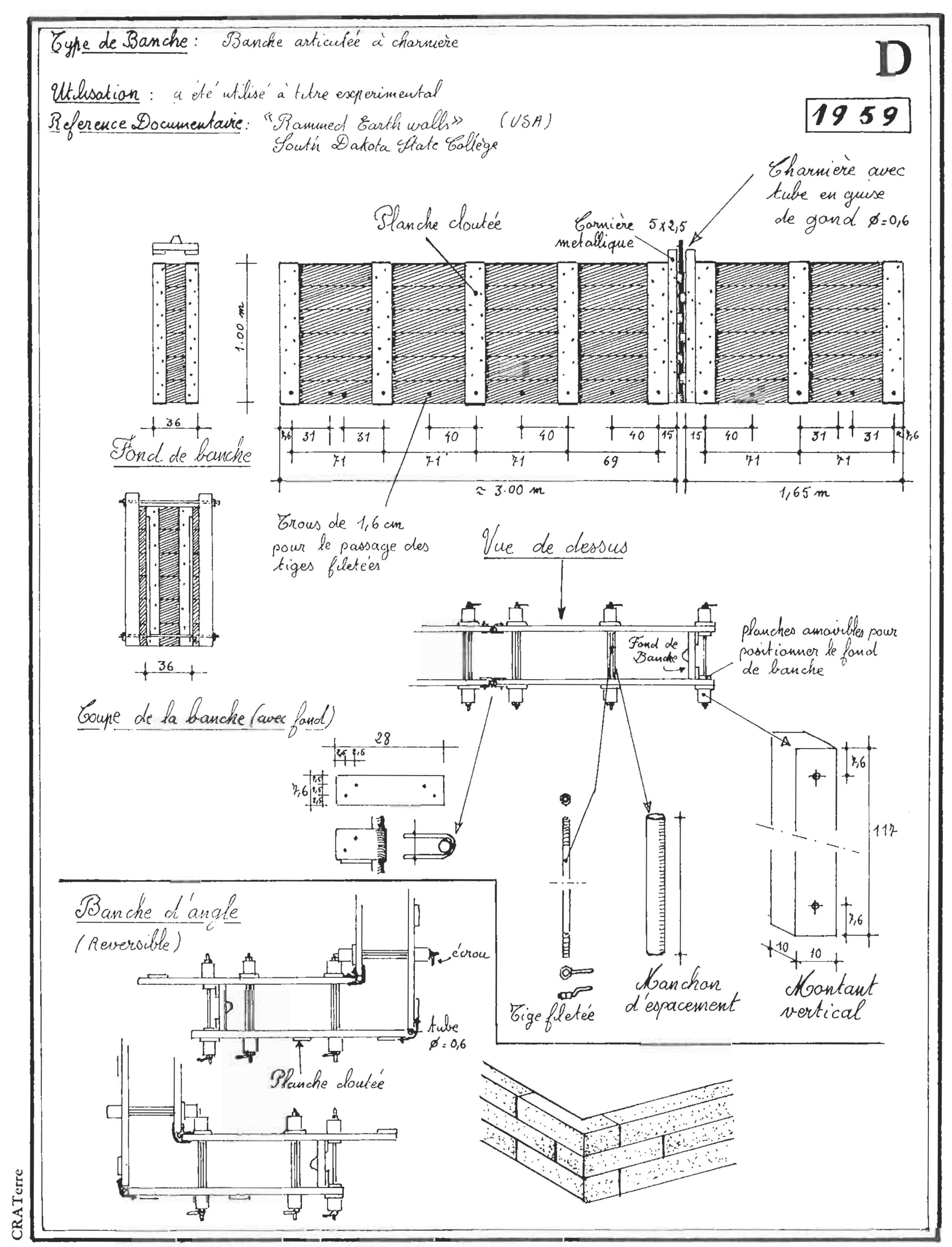

Type de Banche : Banche traditionelle australienne
Reference Documentaire : « Earth-wall construction » par G.F. Middleton
(Commonwealth experimental Building Station)
A
Epaisseur des mur
92
Detail de l'angle
Sabre
Remplissage (Planche de bois)
5
Metal
e = 0,6
24
5
2,6
7
Utilisation de simple cornière dans l'angle pour mur de 30 cm d'epaisseur
5
26
3
Système d'angle permettant des murs de 50 cm
Barre d'espacement
Fond de banche
92
Longueur variable

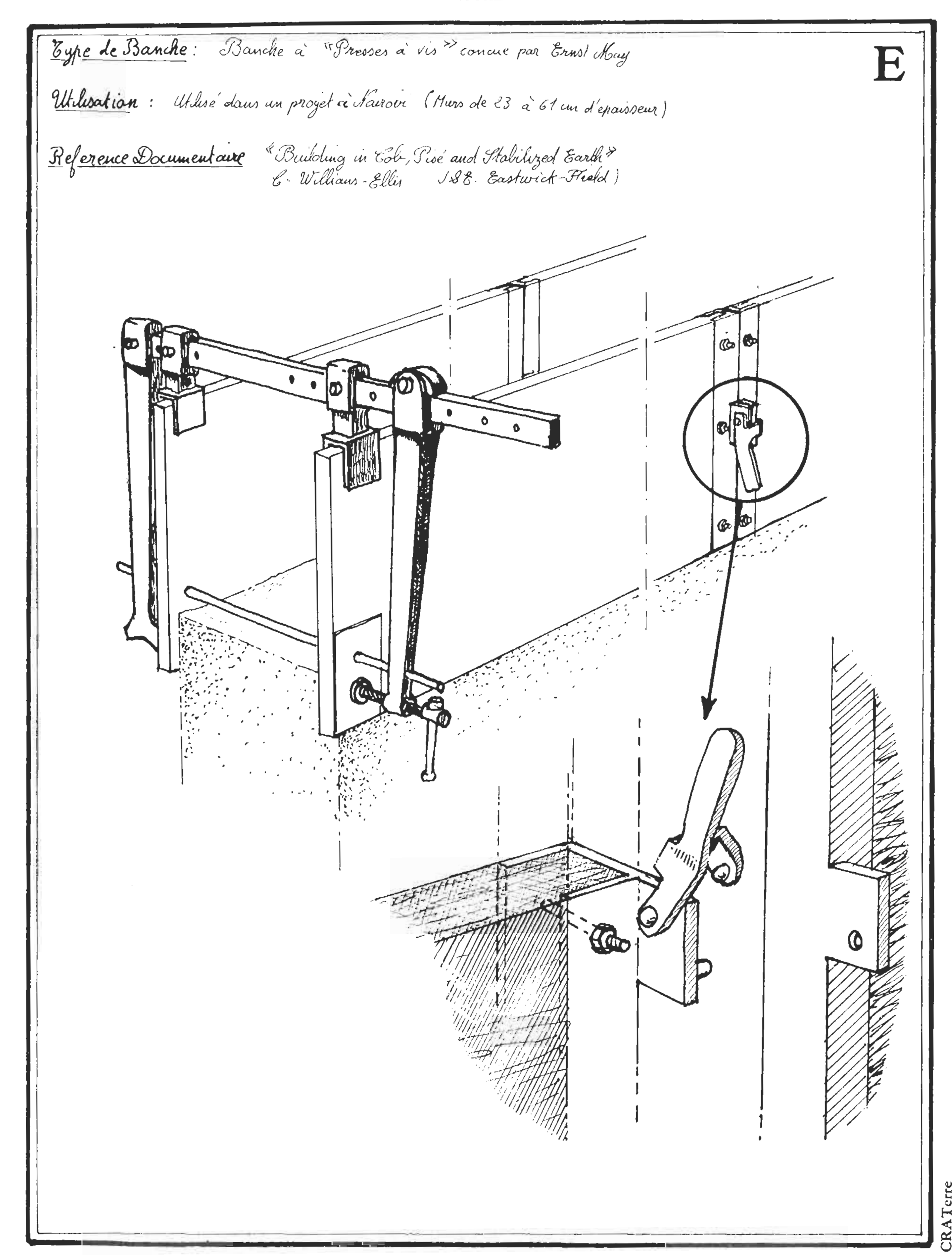
FIGURE 79

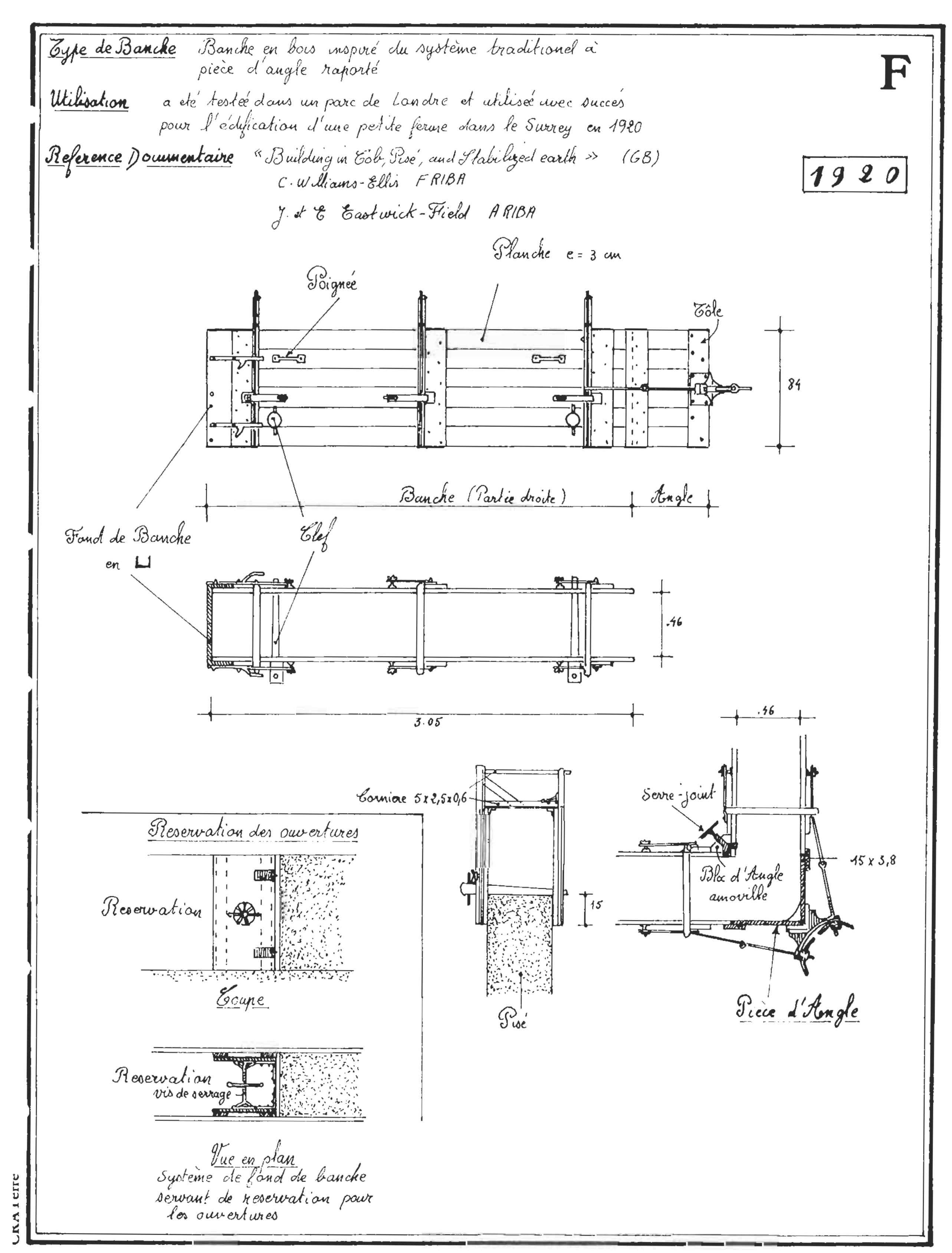


Type de Banche : Banche inspiré du banchage traditionel à coffrage du coin indépendant
Utilisation : Semble avoir été utilisé sur chantier
Référence Documentaire : « Jordhusbygge » C.O Lindberg et K.G Molin (Suède)
B
1950
a
b
c
d
Planche d'espacement
Reservation d'ouverture
Tige filetée à son extremité
Clefs
Coin
Coffrage d'Angle


Type de Banche Banche à fils de fer en guise de clés et traverses
Utilisation a été utilisé pour le projet DSIR
construction de deux cottages à Amesbury dans le Wiltshire (GB)
Reference Documentaire « Building in Cob, Pisé, and Stabilized earth »
C. Williams-Ellis et J & E Eastwick-Field
C
1927
69
30,5
30,5
69
69
69
37
18
18
23
24
37
Barre de bois (chêne)
Plaque d'acier et tirant
Barre d'espacement
7,6 x 5
Montant vertical
15 x 3,8
Plaque de renfort en acier
7,6 x 3,8
Table de tension
50,8
58,4
Pisé
43 cm
Coupe
Vue en plan de l'Angle
Plaque de renfort en acier
7,6 x 3,8
Montant
10 x 3,8
43 cm
50,8
Pièce en quart de cercle


Type de Banche : Banche articulée à charnière
D
Utilisation : a été utilisé à titre experimental
1959
Reference Documentaire : "Rammed Earth walls" (USA)
South Dakota State Collège
Charnière avec tube en guise de gond Ø=0,6
Planche cloutée
Cornière 5x2,5 metallique
1.00 m
36
Fond de banche
31
31
40
40
40
15
15
40
31
31
7,6
71
71
71
69
71
71
≈ 3.00 m
1,65 m
Trous de 1,6 cm pour le passage des tiges filetées
Vue de dessus
36
Fond de Banche
planches amovibles pour positionner le fond de banche
Coupe de la banche (avec fond)
28
7,6
7,6
117
7,6
10
10
Banche d'angle
(Reversible)
écrou
tube Ø = 0,6
Planche cloutée
Tige filetée
Manchon d'espacement
Montant vertical
CRATerre


Type de Banche : Banche à «Presses à vis» concue par Ernst May
E
Utilisation : Utilisé dans un projet à Nairobi (Murs de 23 à 61 cm d'épaisseur)
Reference Documentaire «Building in Cob, Pisé and Stabilized Earth»
C. Williams-Ellis J.&E. Eastwick-Field)


Type de Banche Banche en bois inspiré du système traditionel à pièce d'angle raporté
Utilisation a été testé dans un parc de Londre et utilisé avec succés pour l'édification d'une petite ferme dans le Surrey en 1920
Reference Documentaire « Building in Cob, Pisé, and Stabilized earth » (GB)
C. Williams-Ellis FRIBA
J. et E. Eastwick-Field ARIBA
F
1920
Planche e = 3 cm
Poignée
Tôle
84
Banche (Partie droite)
Angle
Fond de Banche en ⊔
Clef
.46
3.05
.46
Corniere 5x2,5x0,6
Serre-joint
15 x 3,8
Bloc d'Angle amovible
15
Pisé
Pièce d'Angle
Reservation des ouvertures
Reservation
Coupe
Reservation
vis de serrage
Vue en plan
Système de fond de banche servant de reservation pour les ouvertures

CRATerre

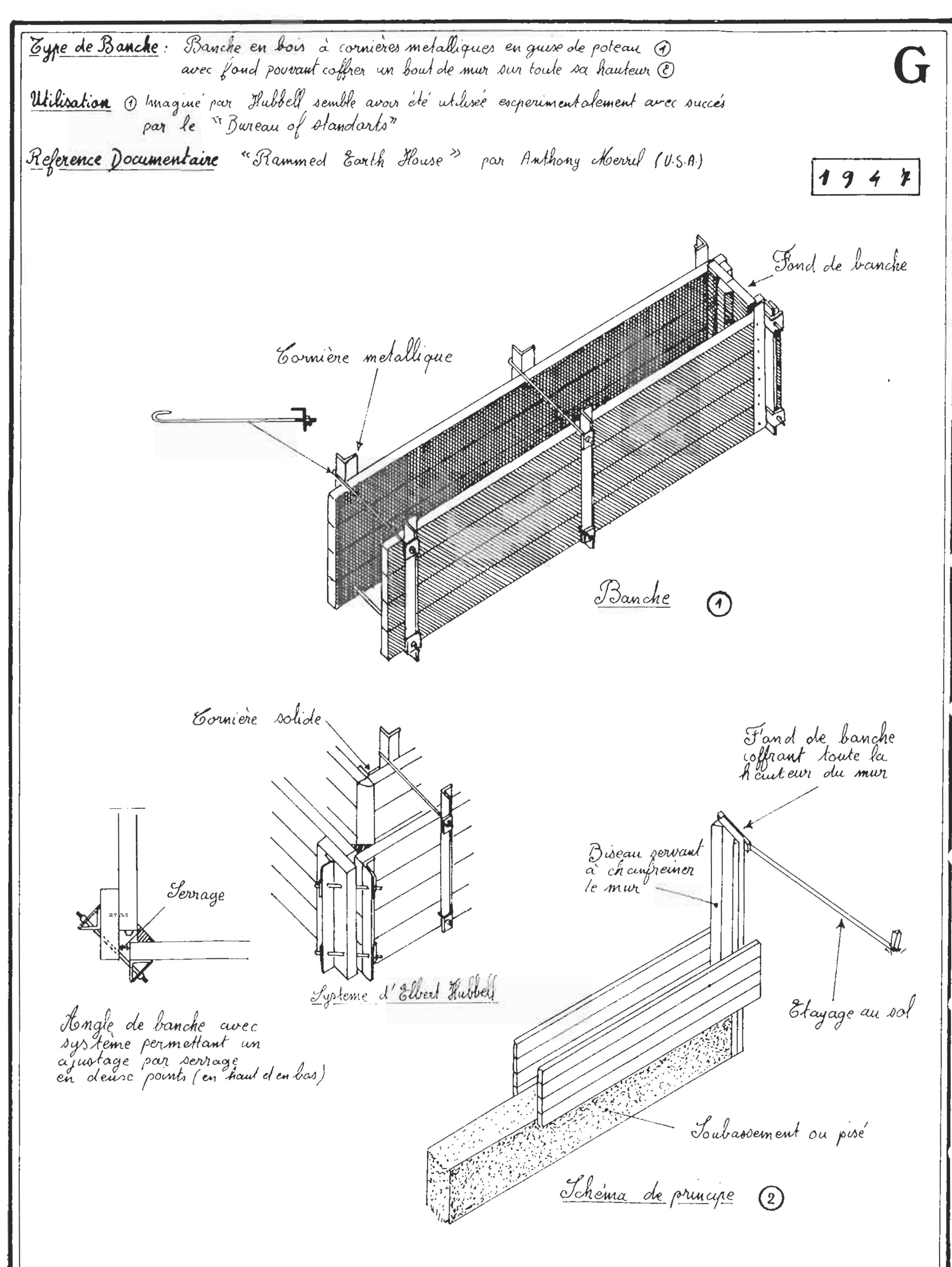
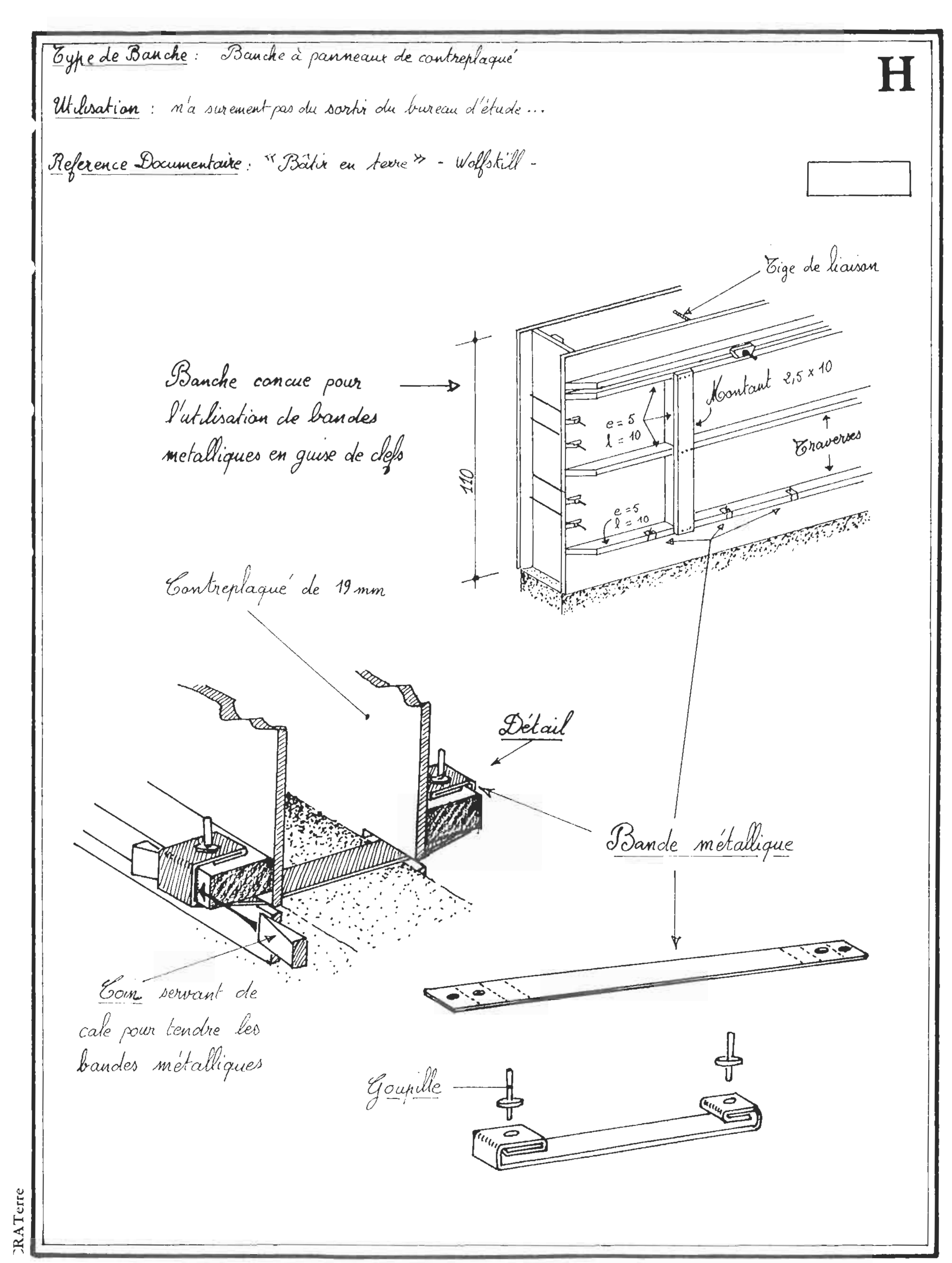

Type de Banche : Banche en bois à cornières metalliques en guise de poteau ①
avec fond pouvant coffrer un bout de mur sur toute sa hauteur ②
Utilisation ① Imaginé par Hubbell semble avoir été utilisée experimentalement avec succés
par le "Bureau of standarts"
Reference Documentaire «Rammed Earth House» par Anthony Merril (U.S.A)
G
1947
Fond de banche
Cornière metallique
Banche ①
Cornière solide
Fond de banche coffrant toute la hauteur du mur
Biseau servant à chanfreiner le mur
Serrage
Systeme d'Elbert Hubbell
Etayage au sol
Angle de banche avec systeme permettant un ajustage par serrage en deux points (en haut et en bas)
Soubassement ou pisé
Schéma de principe ②

FIGURE 85



Type de Banche : Banche à panneaux de contreplaqué
H
Utilisation : n'a surement pas du sortir du bureau d'étude ...
Reference Documentaire : "Bâtir en terre" - Wolfskill -
Tige de liaison
Banche concue pour l'utilisation de bandes metalliques en guise de clefs
Montant 2,5 x 10
e = 5
l = 10
Traverses
110
e = 5
l = 10
Contreplaqué de 19 mm
Détail
Bande métallique
Coin servant de cale pour tendre les bandes métalliques
Goupille

FIGURE 86

Type de Banche — Banche inspirée du banchage traditionel

Reference Documentaire — "Building in Cob, Pisé and Sabilized earth" 1950

I

Planche de 2,5 x 10

Tige filetée Ø = 1,5

5 7,5 epais du mur 7,5 5

Planche de 5 cm

13

Planche de 2,5 x 15

≤ 90

Detail de l'angle

CRATerr

FIGURE 87

Type de Banche — Banche à ossature en « étau » pour suppression des clés

Reference Documentaire — « Building in Cob, Pisé, and Stabilized earth » 1950

J

5 x 10

Fixe

Tige Ø = 1,5

Mobile

5 x 10

5 x 10

1,3 x 2,5

Planche de 2,5 x 15

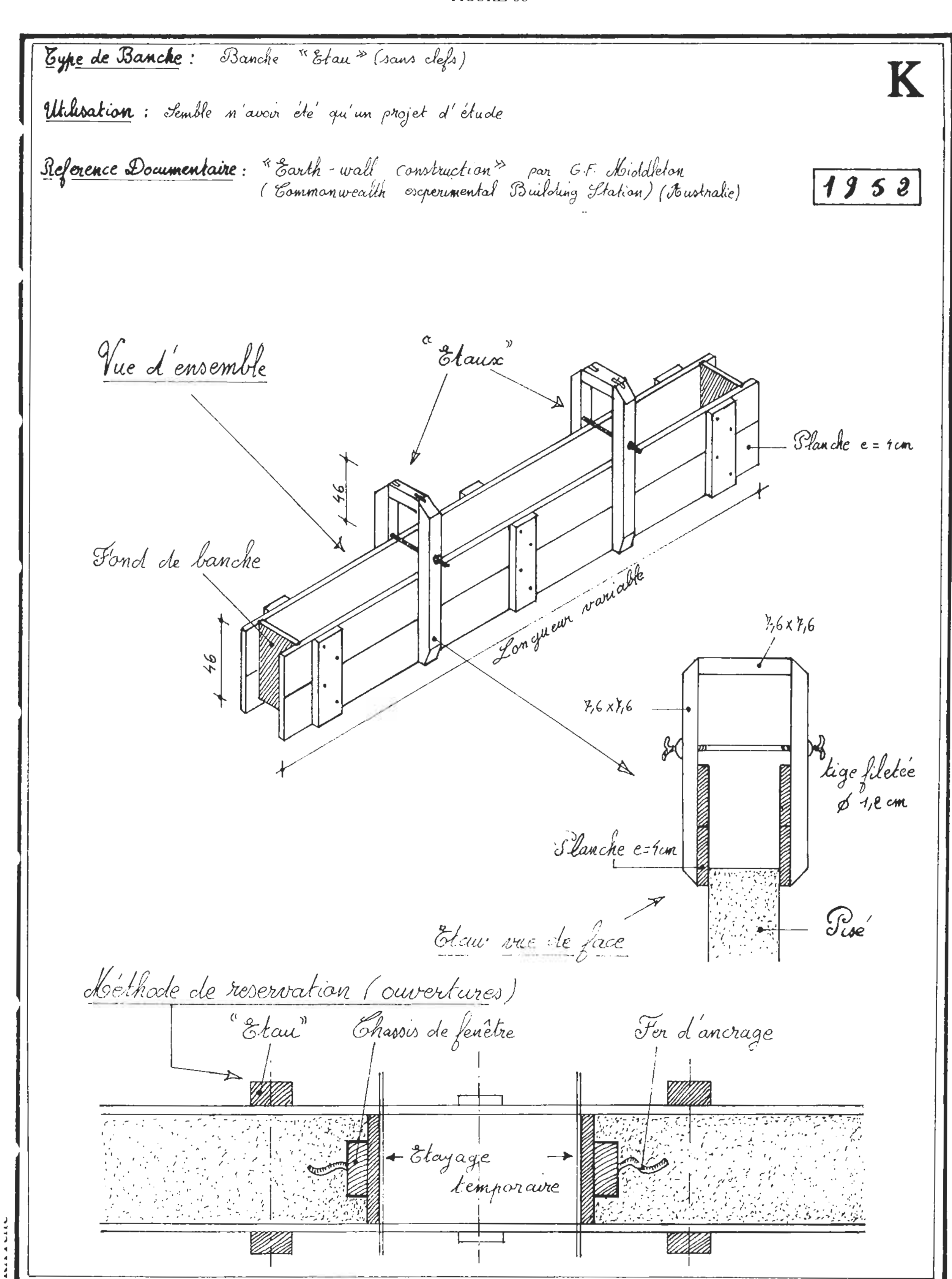
Planche de 5 cm

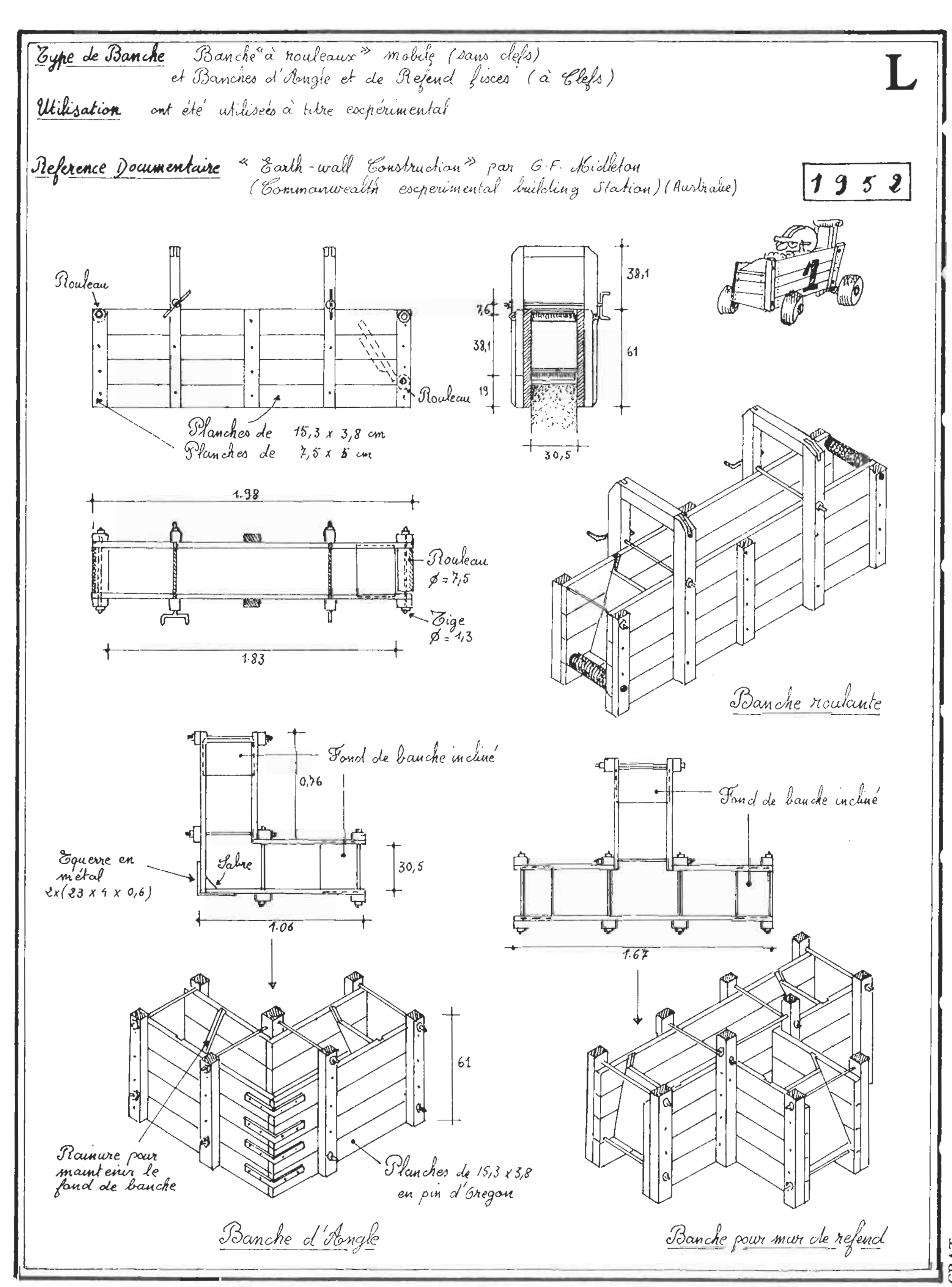
≤ 90

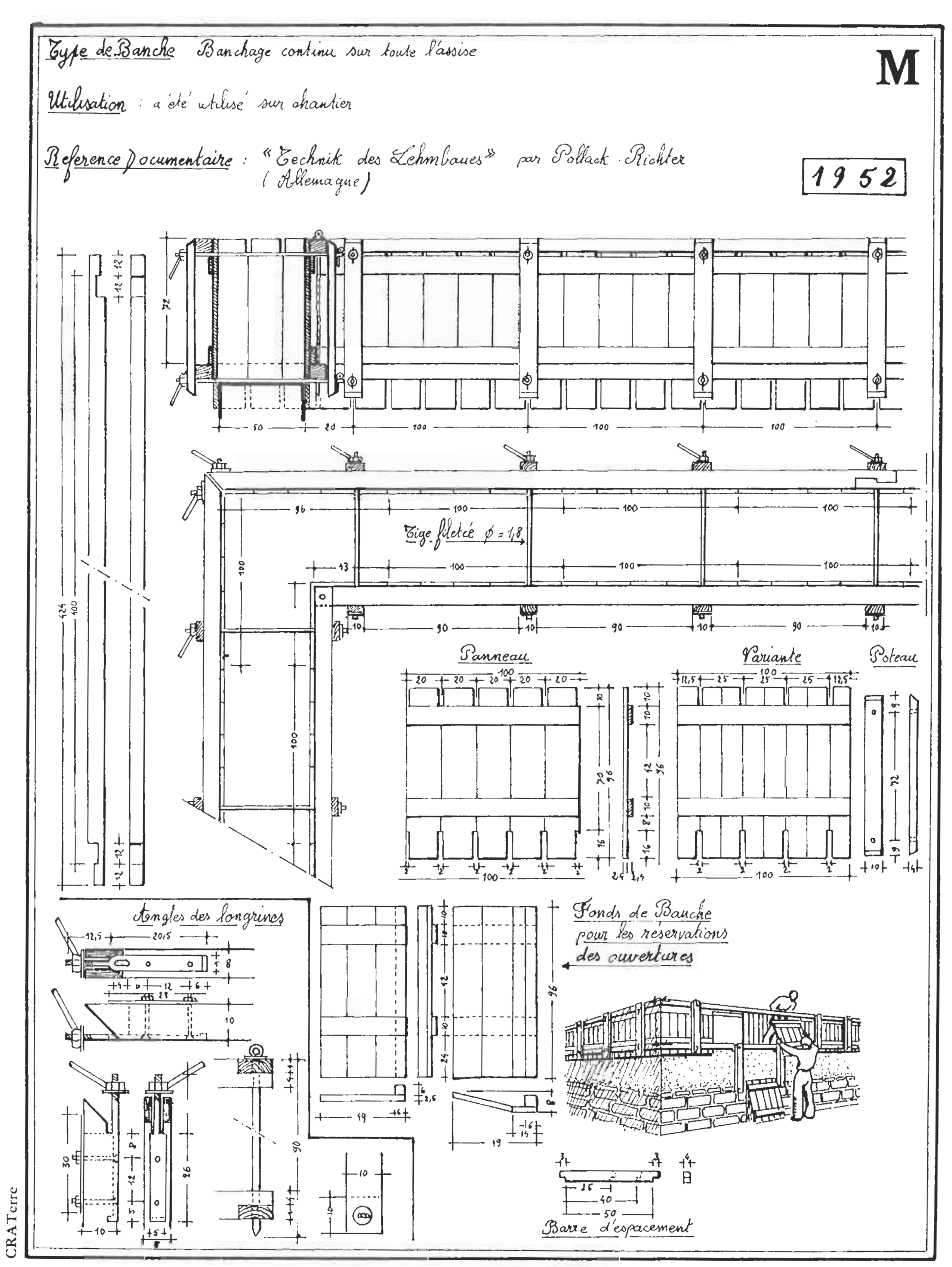
Charnière

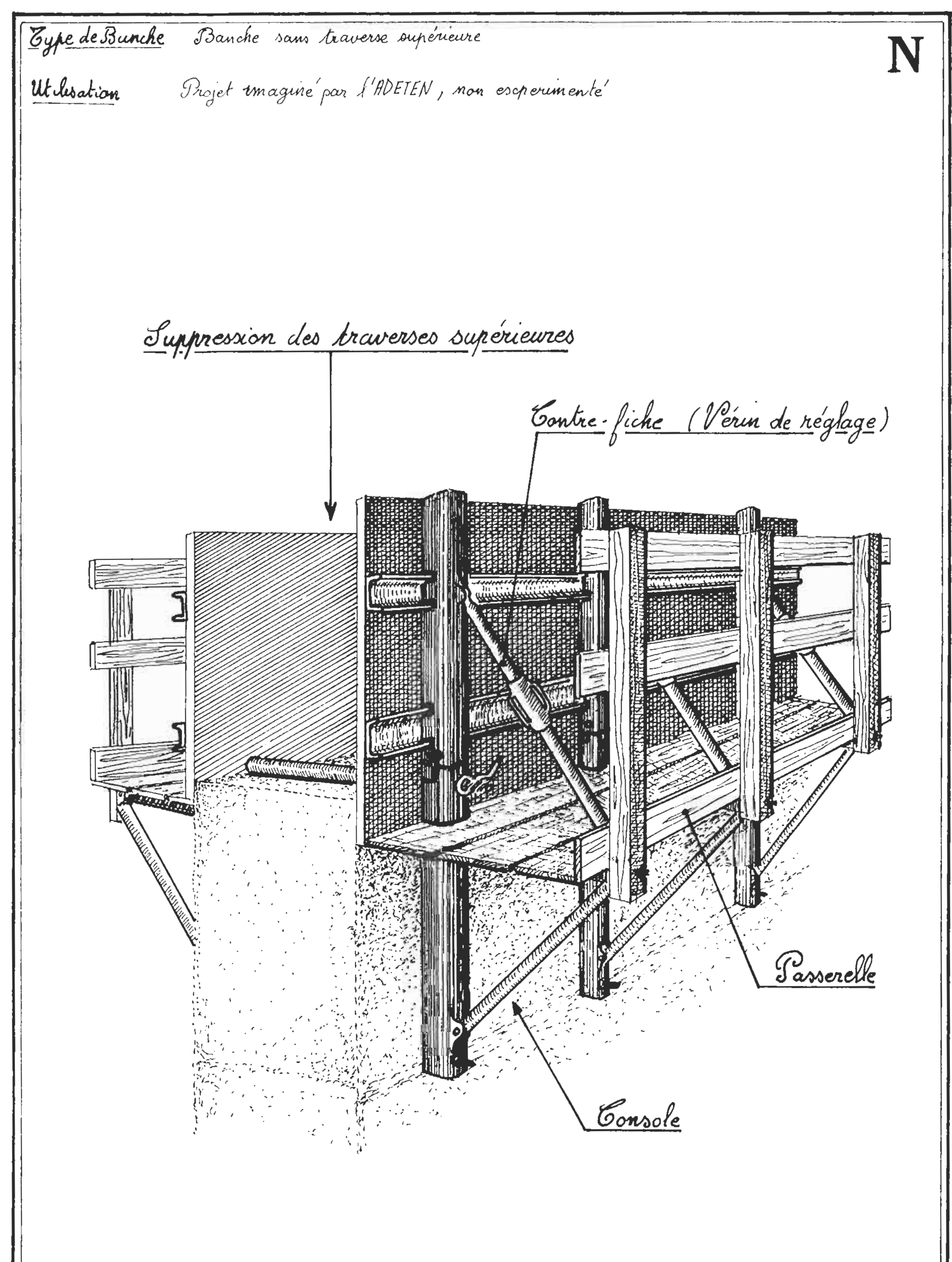
CRATerre

FIGURE 88


Type de Banche : Banche "Etau" (sans clefs)
K
Utilisation : Semble n'avoir été qu'un projet d'étude
Reference Documentaire : "Earth-wall construction" par G.F. Middleton
(Commonwealth experimental Building Station) (Australie)
1952
Vue d'ensemble
"Etaux"
Planche e = 4cm
46
Fond de banche
46
Longueur variable
7,6 x 7,6
7,6 x 7,6
tige filetée
ø 1,2 cm
Planche e=4cm
Pisé
Etau vue de face
Méthode de reservation (ouvertures)
"Etau"
Chassis de fenêtre
Fer d'ancrage
Etayage
temporaire


Type de Banche Banche « à rouleaux » mobile (sans clefs)
et Banches d'Angle et de Refend fixes (à Clefs)
L
Utilisation ont été utilisées à titre expérimental
Reference Documentaire « Earth-wall Construction » par G.F. Midleton
(Commonwealth experimental building Station) (Australie)
1952
Rouleau
Rouleau
Planches de 15,3 x 3,8 cm
Planches de 7,5 x 5 cm
38,1
7,6
38,1
61
19
30,5
1.98
Rouleau
ø = 7,5
Tige
ø = 1,3
1.83
Banche roulante
Fond de banche incliné
0,76
30,5
Equerre en métal
2x(23 x 4 x 0,6)
Sabre
1.06
Fond de banche incliné
1.67
61
Rainure pour maintenir le fond de banche
Planches de 15,3 x 3,8 en pin d'Oregon
Banche d'Angle
Banche pour mur de refend
CRATerre


Type de Banche Banchage continu sur toute l'assise
M
Utilisation : a été utilisé sur chantier
Reference Documentaire : « Technik des Lehmbaues » par Pollack Richter (Allemagne)
1952
Tige filetée ϕ = 1,8
Panneau
Variante
Poteau
Angles des longrines
Fonds de Banche pour les reservations des ouvertures
Barre d'espacement


Type de Banche
Banche sans traverse supérieure
N
Utilisation
Projet imaginé par l'ADETEN, non experimenté
Suppression des traverses supérieures
Contre-fiche (Vérin de réglage)
Passerelle
Console

3) Maniabilité

La maniabilité d'une banche dépend de son poids. Pour maintenir sa solidité et sa rigidité on est obligé d'utiliser des éléments qui l'alourdissent. Aussi, le renforcement des panneaux, s'il est intégré, conduira à l'emploi d'engin de levage (grue etc.). Notre banche de Vignieu était régidifiée par des profilés métalliques, en oméga, démontables **(fig. 102).** Une fois les clés mises en place, le montage est rapide (20 min. pour une portée de 4 m) mais la mise d'aplomb et le calage sont difficiles et demandent plus de temps.

La banche roulante **(fig. 89 L)** est une olution intéressante pour de petits coffrages.

4) Mise d'aplomb

C'est une question délicate qui peut prendre beaucoup de temps si la banche est mal conçue. A Vignieu nous mettions une bonne heure. La banche **(fig. 92 N)** se règle par des vérins extérieurs fixés aux renforts et le contrôle de l'aplomb est ainsi plus aisé.

5) Le problème des clés

Des systèmes ont été imaginés pour supprimer les clés **(fig. 87 J-88K-89L).** En fait, le seul inconvénient des clés, ce sont les trous qui restent dans les murs. Or les clés restent un élément facilitant le positionnement de la banche qu'on n'a pas à maintenir durant la mise d'aplomb.

L'extraction des clés n'est pas difficile après le débanchage si l'on a pris la précaution de les poser sur un peu de sable ou de les envelopper de papier. Une solution consiste à utiliser des bandes métalliques **(fig. 85 H)** qu'on laisse à l'intérieur du mur. Ce procédé nous paraît difficile à appliquer sur le chantier. L'utilisation de manchon **(fig. 81 D)** permet de ne pas abîmer les tiges filetées qui servent de clés.

6) Les échaffaudages

Les clés peuvent aussi servir d'éléments d'échaffaudage **(fig. 92 N)** Celui-ci jouant alors un rôle rigidifiant par triangulation extérieure. De même les trous des murs peuvent être utilisés provisoirement pour les traverses d'échaffaudage.

7) Les traverses supérieures

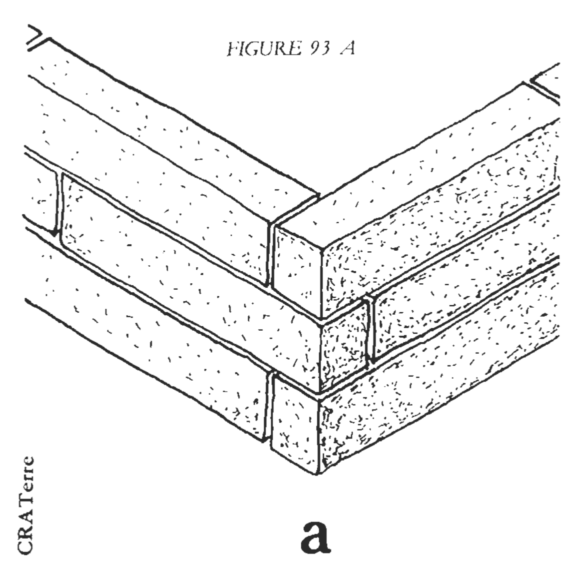
Elles gênent le piseur qui, entravé de toute part, circule difficilement dans la banche. La manipulation d'une dame pneumatique devient malaisée surtout au début de la banchée. L'incorporation d'éléments préfabriqués comme les cadres des fenêtres est aussi rendue difficile par ces traverses supérieures.

La banche **(fig. 82 E)** présente un système de traverse en « Presse à vis » que l'on peut mettre à volonté n'importe où, mais il faut façonner spécialement ces pièces.

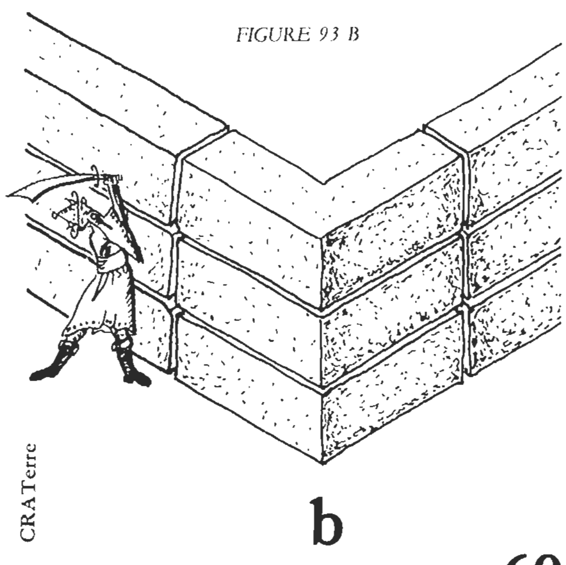
La banche que nous avons imaginée **(fig. 92 N)** a été essentiellement conçue pour faire face au problème de suppression des traverses supérieures, tous les efforts étant repris par l'ossature extérieure. Il reste à déterminer ses mesures et à l'expérimenter.

8) Les angles

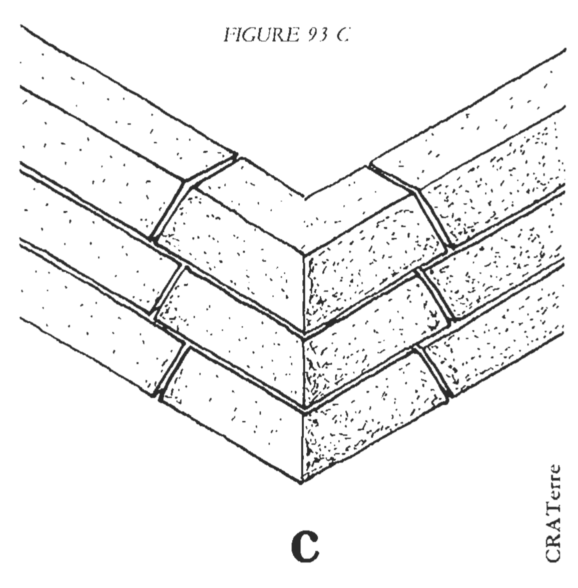
Traditionnellement on croisait les banchées aux angles et il n'y avait pas de banche spéciale d'angle **(fig. 93 A).**



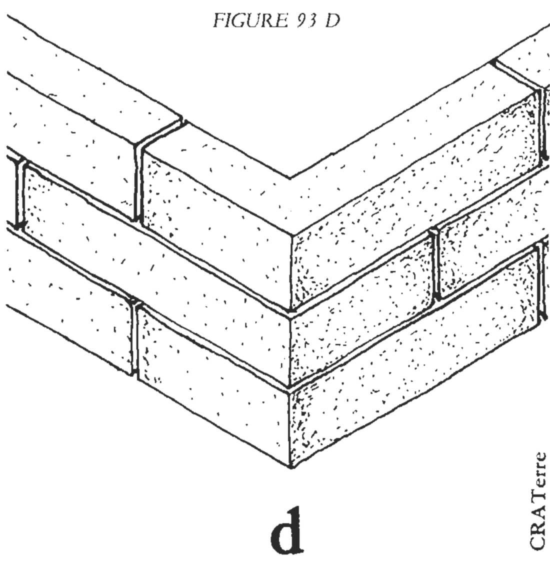
Ce système n'est pas à rejeter, d'autant plus qu'une banche d'angle comme celle de la **fig. 78 A** crée dans les deux murs un « coup de sabre » par superposition des joints verticaux **(fig. 93 B).**



Une solution **(fig. 93 C)** consiste à « obliquer » les joints ; c'est un principe, qu'on utilise dans les banches de refend et d'angle **(fig. 89 L).** Cette méthode n'est guère meilleure que la précédente...



La banche réversible à charnières **(fig. 81 D)** constitue une bonne solution **(fig. 93 D).**



Un système suédois **(fig. 79 B)** emploie un seul élément d'angle extérieur qui relie deux banchées. Cette pièce d'angle est surtout utile dans le cas d'un banchage de toute une assise.

L'ajustage et la mise d'aplomb de deux banches orthogonales n'est pas facile. Pour ce faire, des systèmes spéciaux de réglage **(fig. 83 F et 84 G)** ont été prévus. On peut mettre à l'intérieur de l'angle une pièce de bois triangulaire afin de le chanfreiner. L'hypothénuse de cette pièce peut être remplacée par une courbe concave de 5 cm de rayon, ce qui donne un angle arrondi propre et résistant à l'épaufrement. On peut faire de même pour le tableau des baies.

Le problème des angles étant toujours un peu délicat à résoudre, certains ont imaginé une conception architecturale particulière où le bâtiment n'est formé que de pans de murs solidaires entre eux par les fondations et le chaînage ; ce dernier servant par ailleurs de linteau pour les baies **(fig. 94).**

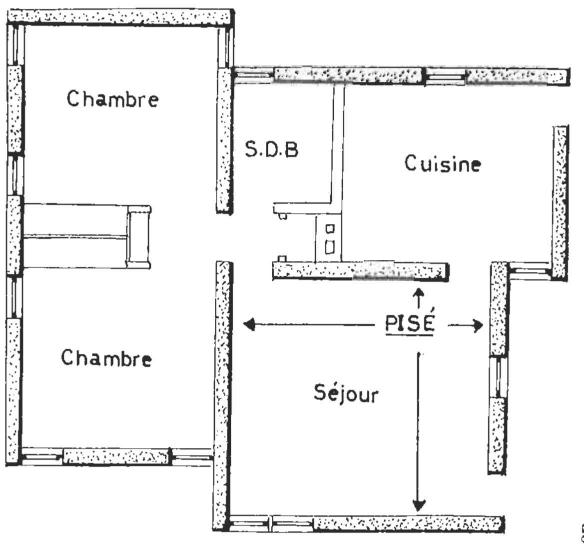


FIGURE 94 : EXEMPLE DE CONSTRUCTION ARCHITECTURALE ELIMINANT LES ANGLES EN PISE (HIBBEN)

Pour éviter de poser trop fréquemment un fond de banche, on a proposé de construire des éléments de murs **(fig. 84 G2)** on utilise alors une planche étayée qui coffre l'épaisseur du mur sur toute sa hauteur. Cet étayage doit être très résistant.

9) Modulation

Habituellement les banches n'ont qu'une longueur unique. Celle de la **fig. 81 D** permet l'utilisation d'un grand et d'un petit panneau en continu ou en séparé. Dans la pratique on est souvent amené à faire varier cette longueur : ouvertures ou murs non prévus. Dans ces cas, on emploie fréquemment un ou deux fonds de banche. Ceux-ci doivent pouvoir être fixés aisément et solidement. Le cloutage de planchettes d'arrêt sur les panneaux n'est pas une bonne solution. Il les détériore et représente une perte de temps non négligeable. Ce fut un problème constant sur notre chantier. **La figure 83 F** suggère un système de fond de

banche qui tient par simple pression sur les panneaux des banches. Mais il risque toujours de glisser à cause de l'importante poussée qu'il supporte.

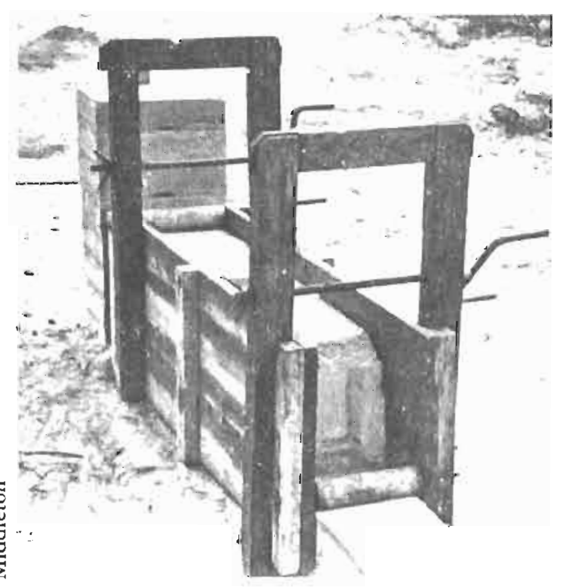
10) L'inclusion d'éléments préfabriqués

Les clés et les traverses supérieures sont autant d'obstacles à l'inclusion des cadres d'ouvertures, des niches, des placards etc. Le système de traverses mobiles de la banche **(fig. 82 E)** répond à ce problème. Ces éléments préfabriqués devront être solides et bien étayés à l'intérieur. Nous avons essayé d'utiliser un bâti en ferro-ciment qui s'est révélé assez long à fabriquer et très lourd à manipuler. Sans doute faut-il imputer à un étayage défectueux sa mauvaise résistance aux poussées de la terre ; il en a résulté une importante déformation du bâti. Nous avons également employé des coffrages de voûtes. Pour pouvoir les récupérer, ils étaient posés sur du sable ou des cales ; il faut en effet, tenir compte du retrait du pisé (environ 0,7 %).

11) Ecartement des banches

Les banches doivent permettre une bonne circulation. L'écartement minimal se situe entre 35 et 40 cm. L'épaisseur des murs peut varier suivant leur fonction. L'utilisation des tiges filetées est un moyen commode de régler cette épaisseur. Par commodité et rapidité dans la manipulation, on préconise les écrous à ailettes ou à « poignée manivelle ».

FIGURE 90 : BANCHE ROULANTE AUSTRALIENNE



Middleton

12) Parement

Suivant que l'on désire un mur lisse ou rugueux (pour l'accrochage d'enduit) on utilisera des panneaux plus ou moins finis.

13) Entretien

Pour les protéger de la moisissure et faciliter le décoffrage, on graisse l'intérieur des banches. L'huile de vidange est adéquate : on l'étend en couche mince. Le stockage doit toujours se faire à plat, à l'abri de la pluie.

14) Banchage spécial

La **figure 91 M** montre un banchage conçu en République Démocratique Allemande. Il consiste à positionner d'abord les éléments de renforcement (longrines et montants verticaux) et à placer ensuite les petits panneaux de banche. Ce système est uniquement valable quand on banche toute une assise en une fois. Les échafaudages utilisés sont trop importants et sans doute très longs à mettre en place. Ce sont de véritables planchers sur tréteaux : on y apporte la terre par brouettées.

15) Coffrage complet

Expérimentation du C.E.R.F. en 1967 à Ouarzazatte, Maroc **(fig. 95)**.

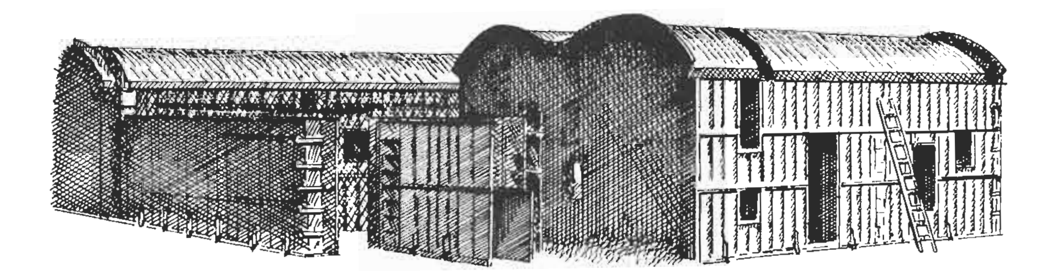
L'objectif était la construction, en Béton de Terre Stabilisée, d'un habitat rural à moindre coût. La maison était entièrement coffrée. Le coffrage métallique se composait d'éléments manœuvrables à la main et assemblés au fur et à mesure. Ce mode de coffrage concernait aussi bien les murs que les toîts (en voûte sur-baissée). La particularité essentielle est la faible épaisseur des murs (25 cm). Les voûtes qui n'avaient que 10 cm à la clé étaient elles aussi en terre damée stabilisée à 4 % de ciment. Le damage était fait à l'aide d'un fouloir pneumatique type « pilette podgorni ». Le coffrage de la double voûte était monté sur vérins et ensuite démonté par éléments et sorti par les ouvertures.

Les deux maisons fabriquées la veille étaient « démoulées » le lendemain matin.

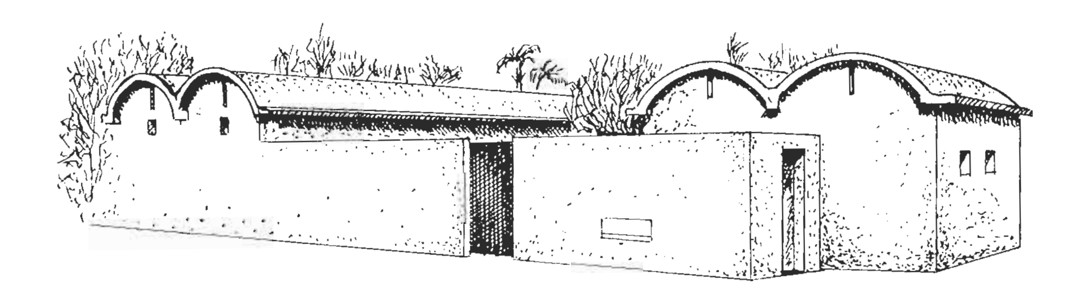
Ce coffrage est évidemment cher à construire, il se compose d'un nombre de pièces considérables assemblées par clavettes. Son amortissement était calculé sur 3000 maisons.

La réduction de l'épaisseur du mur à 20 cm ne nous semble guère un bon élément d'économie, surtout dans un pays ou l'inertie thermique d'un bâtiment n'est pas à négliger.

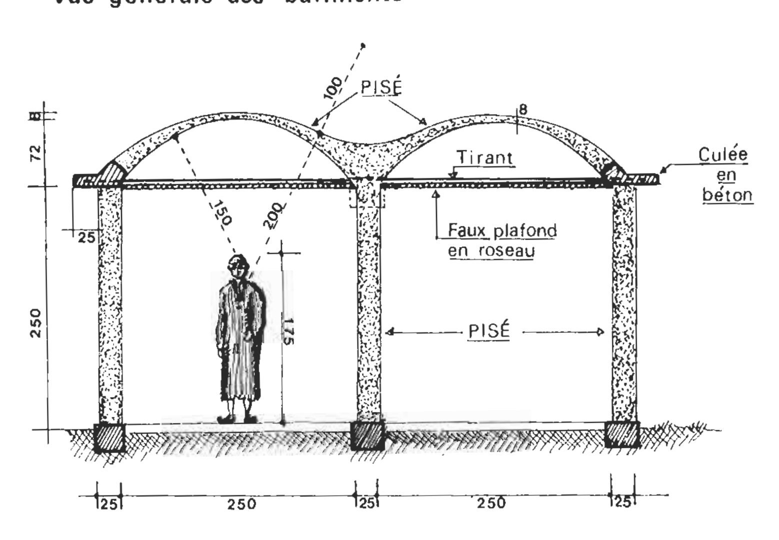
Projet de OUARZAZATE



Coffrage



Vue générale des batiments



Coupe

Vignieu : Un bâtiment expérimental en pisé dans l'Isère

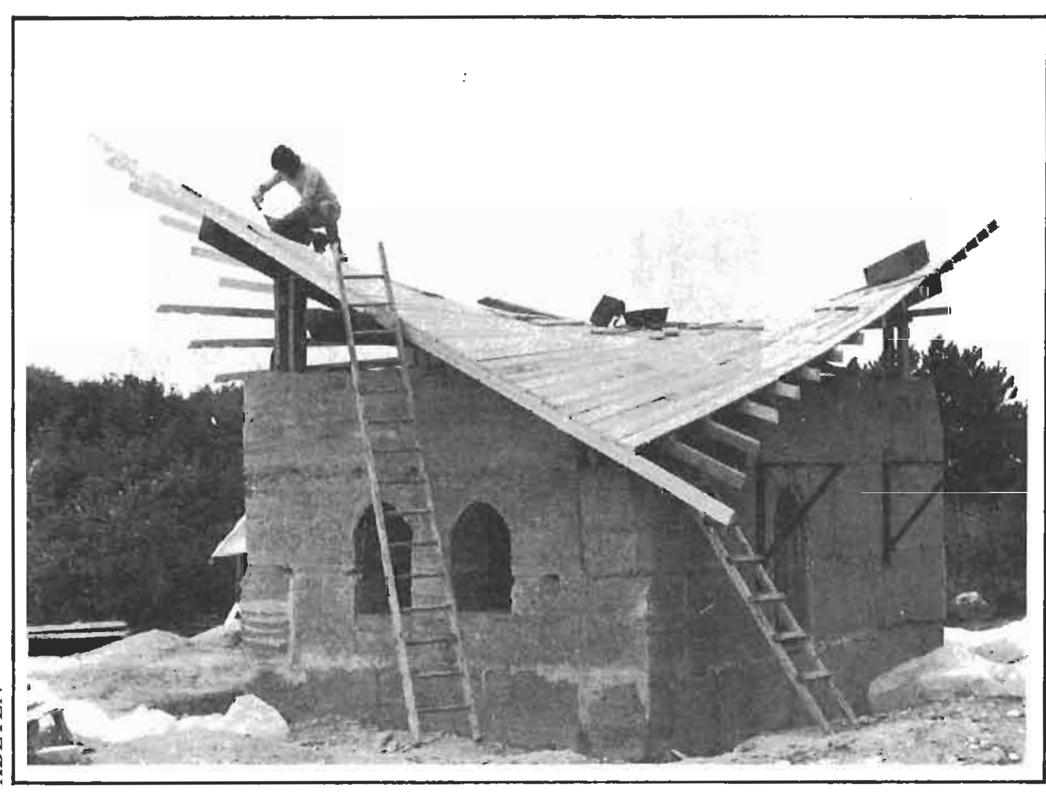
En 1976, l'association ADETEN fut mandatée par le ministère de l'équipement pour effectuer une étude de faisabilité sur l'utilisation du Pisé. Nous pensions en effet, que grâce à des améliorations et à des innovations apportées à la mise en œuvre du pisé, il était possible de rentabiliser ce mode de construction qui possède de nombreux avantages tant sur les plans techniques que sur ceux du confort des habitants et de l'économie de matériaux.

Il fut décidé de procéder à une expérimentation. Durant l'été 1976, un petit bâtiment expérimental fut élevé sur la commune de Vignieu. Nous avons pu tester sur cette construction le système de banches décrit précédemment ainsi que divers engins de compactage. Il ne s'agissait pas de faire un bâtiment démonstratif sur le plan architectural mais d'étudier les différents problèmes afférents à la technique.

La terre était prélevée à proximité de l'édifice, elle était tamisée à 4 cm Ø. Transportée à la brouette, elle était employée telle quelle ou légèrement humidifiée suivant le moment (Année de la sécheresse...). Puis montée à l'aide de seaux dans la banche, la terre était compactée avec une pilonneuse dameuse Ram 30 (Atlas Copco).

Nous ne donnons pas ici les résultats de cette expérience, les conclusions que nous en avons tirées transparaissent à travers les chapitres de l'ouvrage (Granulométrie, Essai Proctor, Banchage, Compactage etc.). Nous fournissons quelques illustrations de ce chantier, ainsi qu'un tableau récapitulatif et comparatif des temps de mise en œuvre **(fig. 107).**

FIGURE 98 :
CHANTIER DE VIGNIEU



ADETEN



▲ *FIGURE 96 : EXPERIENCE DU GROUPE « PALAFITTE » DE L'UP D'ARCHITECTURE DE GRENOBLE EN 1975 AU PIN (ISERE) - CONSTRUCTION CIRCULAIRE EN PISE*



FIGURE 97 : BANCHE ARTICULEE PERMETTANT DES MURS COURBES AINSI QUE DES POTEAUX - POSITION RECTILIGNE (LE PIN, 1975)

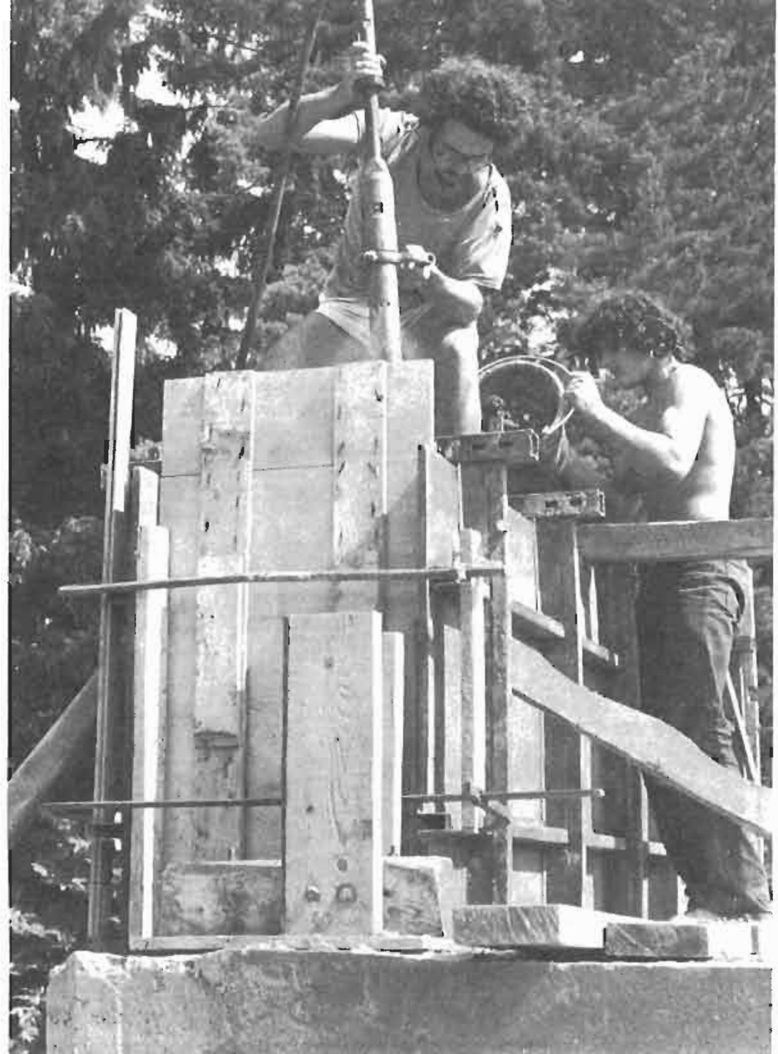
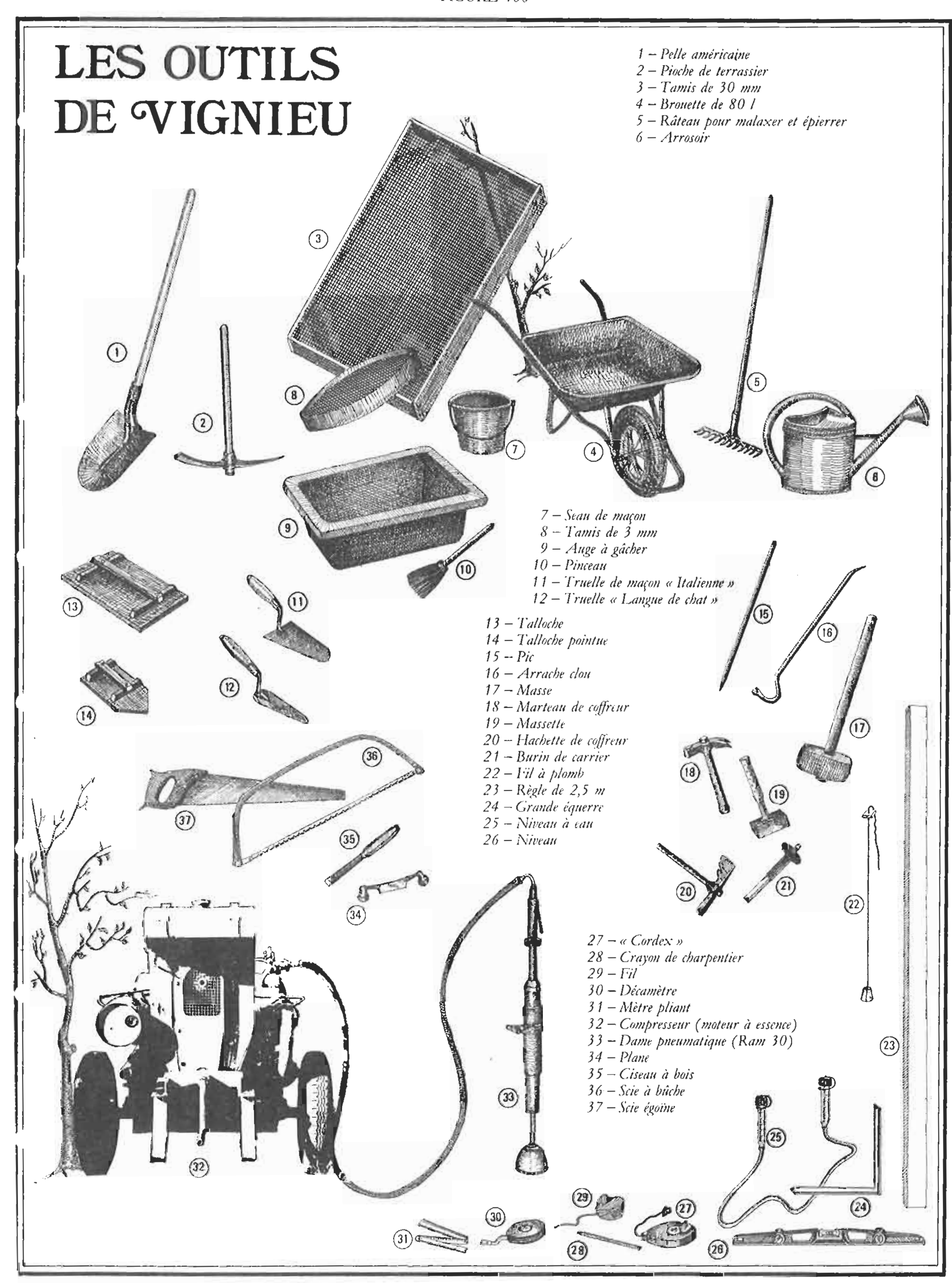


FIGURE 99 : REMPLISSAGE DE LA BANCHE ET COMPACTAGE

FIGURE 100


LES OUTILS
DE VIGNIEU
1 – Pelle américaine
2 – Pioche de terrassier
3 – Tamis de 30 mm
4 – Brouette de 80 l
5 – Râteau pour malaxer et épierrer
6 – Arrosoir
7 – Seau de maçon
8 – Tamis de 3 mm
9 – Auge à gâcher
10 – Pinceau
11 – Truelle de maçon « Italienne »
12 – Truelle « Langue de chat »
13 – Talloche
14 – Talloche pointue
15 – Pic
16 – Arrache clou
17 – Masse
18 – Marteau de coffreur
19 – Massette
20 – Hachette de coffreur
21 – Burin de carrier
22 – Fil à plomb
23 – Règle de 2,5 m
24 – Grande équerre
25 – Niveau à eau
26 – Niveau
27 – « Cordex »
28 – Crayon de charpentier
29 – Fil
30 – Décamètre
31 – Mètre pliant
32 – Compresseur (moteur à essence)
33 – Dame pneumatique (Ram 30)
34 – Plane
35 – Ciseau à bois
36 – Scie à bûche
37 – Scie égoïne





EXTRACTION



TAMISAGE



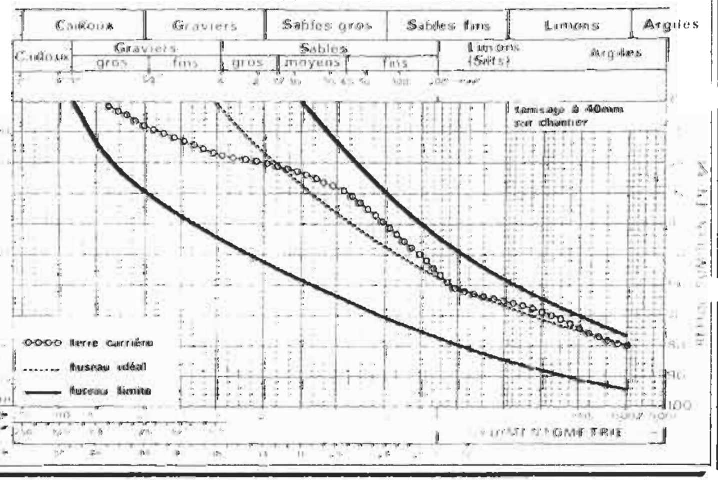
TRANSPORT



STOCKAGE

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Provenance TERRE de la CARRIERE de VIGNIEU à 15 m de la CONSTRUCTION



MONTAGE

1





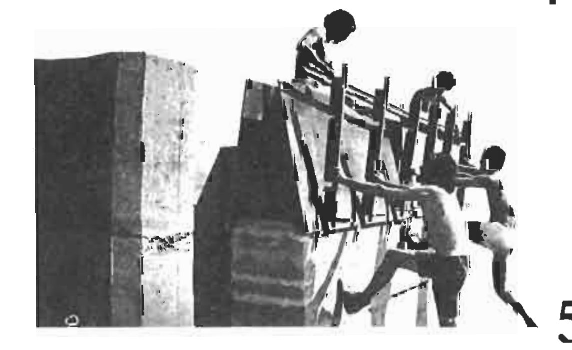
2



3



4



5

1	Pose des clés
2·3	· des panneaux
4	· des montants
5	· des longrines
6	· des traverses

Temps de montage 20 mn

6



DEMONTAGE

①

②

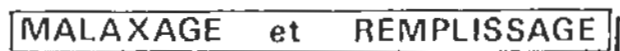
③

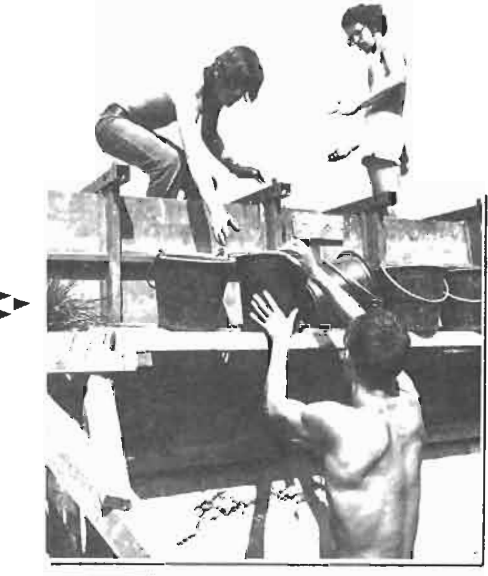
④

⑤

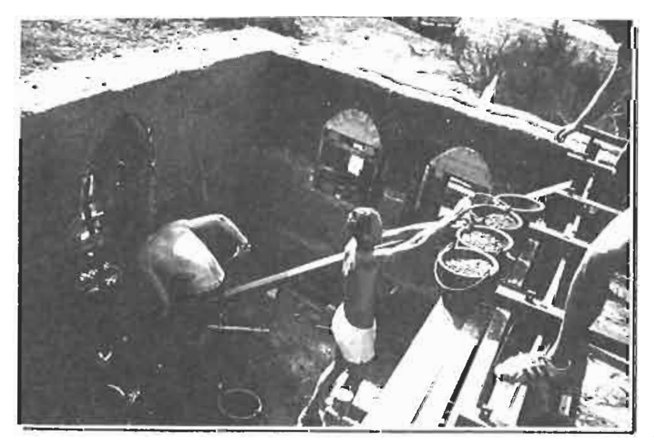
REMPLISSAGE ET COMPACTAGE




MALAXAGE et REMPLISSAGE

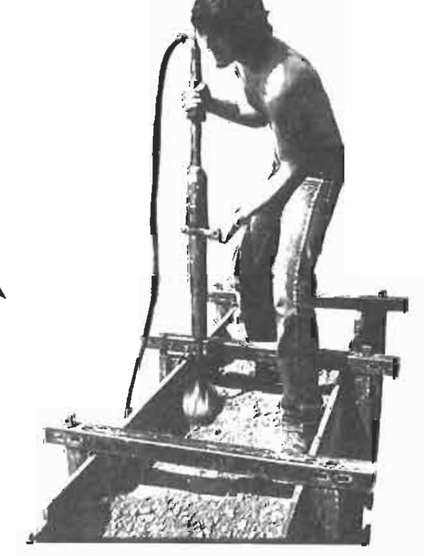


ELEVATION



	Teneur en eau Optimum	Masse volumique sèche obtenue (Max.)
PROCTOR NORMAL (550 Kj/m³)	11,4 %	1,96 t/m³
PROCTOR MODIFIE (2510 Kj/m³)	11,5 %	2,0 t/m³

La teneur en eau optimum est très précise à 1% près
Sur chantier on a vérifié celle-ci en fonction du compactage évalué dans la pratique
Un bon compactage correspond a la teneur en eau optimum trouvée en laboratoire 11,5 %
avec 12,4 % trop humide } pour la terre
avec 10 % trop sec } de Vignieu



DAMAGE

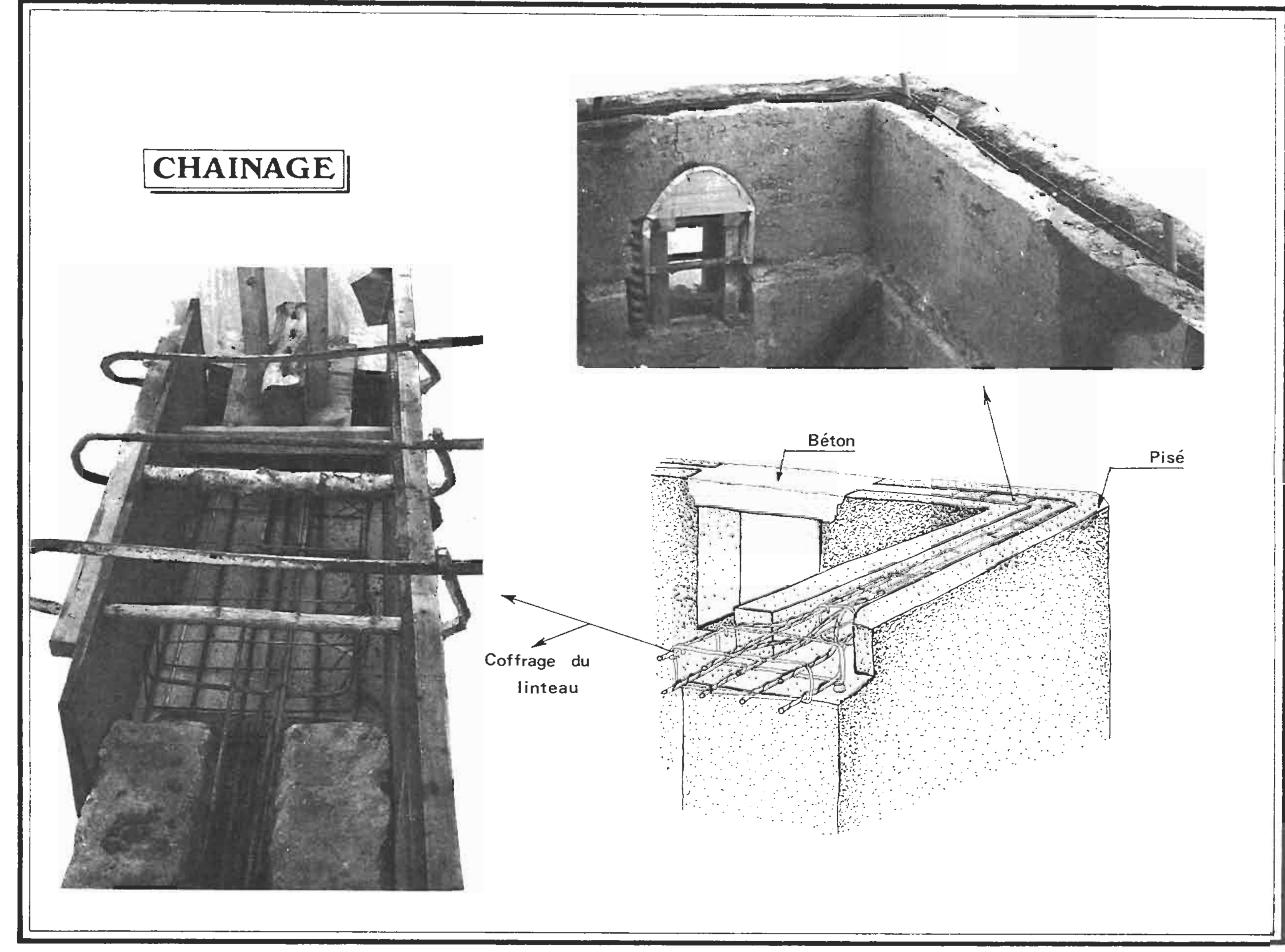

CHAINAGE
Béton
Pisé
Coffrage du linteau

FIGURE 107

CHANTIER (Damage seul mecanise)

COUT POUR UNE BANCHEE DE	0,80 x 3,80 x 0,60 (h, l, e) = 1.82 m^3	0.80 x 3 80 (h, l) = 3.04 m^2

			Ouvrier 1	Ouvrier 2	Ouvrier 3	Ouvrier 4	Ouvrier 5	Matérie Utilisé	
	Extraction de la terre végétale						30 mn		
TRAVAIL A LA CARRIERE	Extraction de la terre	3h			1 h		2 h		
	Tamisage	1h 30				1 h	30 mn		
	Chargement en Brouette	1h 25				1 h	25 mn		
	Transport en Brouette 30m	1 h10			1 h 10 mn				
MONTAGE Des BANCHES	Préparation du Mur		30 mn	30 mn					
	Pose de l'Echaffaudage		45 mn	45 mn					
	Montage de la BANCHE		20 mn	20 mn	20 mn	20 mn	20 mn		
	Mise d'aplomb		1 h	1 h					
PREPARATION ET MISE EN PLACE DES JOINTS						15 mn	15 mn		
Mise en place des Coffrages pour OUVERTURES							1 h		
ELEVATION De La TERRE	Mise en Seaux					2 h 30 mn			
	Elevation				2 h 30 mn				
	Repartition dans la Banche			2h 30 mn					
COMPACTAGE			2 h 30 mn					Compresseur Fouloir Pneuma	2 h 30 mn
Démontage de la BANCHE			20 mn	20 mn	20 mn	20 mn	20 mn		
TOTAL nb H/Ouvrier			5h 25 mn	5h 25 mn	5h 20 mn	5h 25 mn	5h 20 mn		

D'apres notre experience
de VIGNIEU 1976

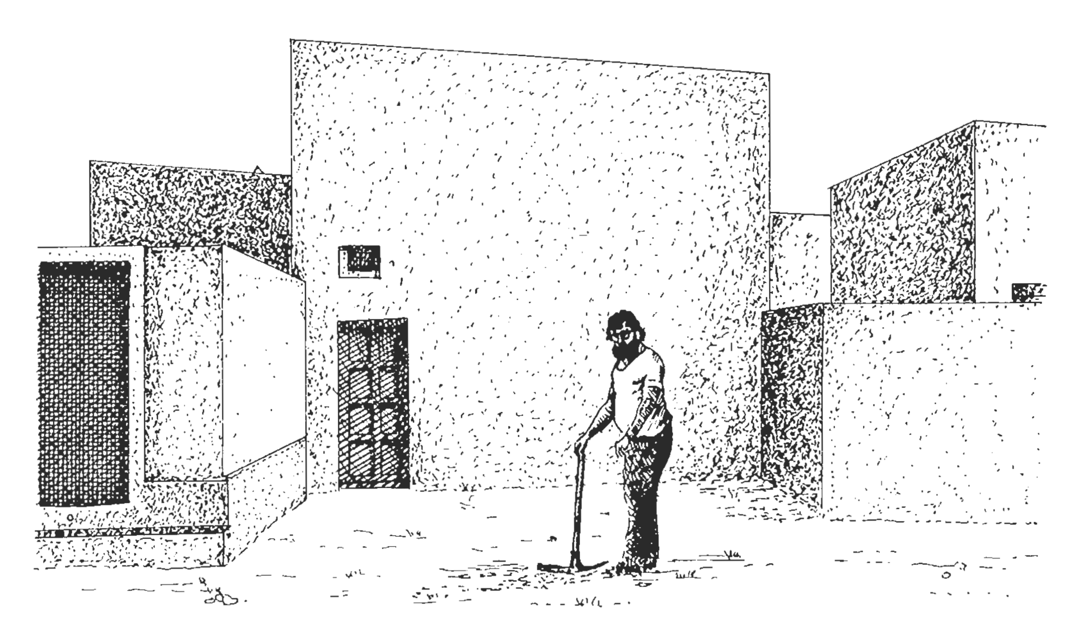
Taux Horaire : 17.16 F/H	Frais de materiel : 134.45 F/M³

COUT
263.60 F/M³

ADETEN

Un exemple récent de chantier en béton de terre stabilisée : 30 maisons en pisé

Le village agricole de Mostefa Ben-Brahim



CRATerre

En 1970, le gouvernement algérien a lancé un programme pour la construction de 1000 villages agricoles, représentant environ 200 000 logements à caractère social, destinés à être distribués à la population agricole.

Les « Chantiers Populaires de la Révolution Agraire », entreprise nationale de construction du Ministère de l'Agriculture, se trouvait dans une situation privilégiée pour participer activement à ce programme.

En 1973 a été réalisé le premier village pilote situé à Mostefa Ben-Brahim, à 30 Km de Sidi Bel Abbes, dans l'Ouest algérien (responsables du projet : P. Pedroti, D., Belmans, H. Houben).

Le village livré aux agriculteurs en juillet 1976, était composé de 192 maisons de 85 m^2 en blocs creux de ciment et 30 maisons de 120 m^2 en pisé stabilisé.

CLIMATOLOGIE

Climat sec *des hautes plaines.* **Précipitation annuelle** *: 750 mm. Eventuellement 1 semaine de* **neige** *par an (5 à 20 cm) et* **gel** *possible pendant 1 mois.* **Températures** *moyennes : de - 3°C à + 36°C. Direction principale des* **vents et pluies** *: N.O.*

DESCRIPTION ARCHITECTURALE

Les maisons sont aveugles du côté nord. Cette situation isole parfaitement contre les intempéries et permet en même temps de protéger les jardins des regards indiscrets, respectant ainsi la tradition islamique de privauté. Les maisons ont toutes été orientées vers le S.S.E

Le type de maison retenue ne fait pas de distinction entre l'habitat rural et l'habitat urbain, la

zone étant semi-urbaine. Il tient compte de certaines habitudes traditionnelles, tout en imposant une formule plus progressiste. Elle offre un minimum de confort et de facilité en respectant les critères de besoin des familles qui vont l'occuper et s'installer avec un minimum d'équipement : 7 m³ de placards se chargent des rangements.

Les maisons sont livrées aux bénéficiaires avec eau courante, chaude et froide, électricité, cheminée dans la salle de séjour avec système de récupération de chaleur permettant ainsi de chauffer l'ensemble à partir d'un point central (poêle ou feu ouvert).

Au premier étage se trouvent une pièce prévue pour les parents ainsi que deux chambres d'enfants. Les trois pièces sont isolées de la vie courante de jour et permettront aux malades d'être au calme et aux enfants d'avoir leur vie propre.

Outre cette division bien marquée, l'habitation a deux accès qui respecteront les traditions : une entrée réservée à la famille, une entrée réservée aux hôtes. L'entrée familiale ouvre sur un hall-couloir qui distribue la maison. La salle d'eau comprend un W.C., une douche, un lavabo et des rangements. La cuisine comprend dans un coin un placard de rangement, et devant une fenêtre ouverte sur le séjour extérieur, l'évier, la table de travail et le fourneau qui est accessible à travers la fenêtre, permettant ainsi de cuisiner de l'extérieur à partir d'une banquette. La cuisine a accès direct sur les séjours intérieur ou extérieur, permettant un service aisé pendant toutes les saisons à partir de l'endroit choisi pour manger. Le séjour communique à travers des fenêtres glissantes à une terrasse en retrait. Au milieu du séjour, un défoncé permet facilement à 16 personnes de manger autour de tables basses.

Surface couverte : *environ 120 m²* – **Jardin :** *minimum 60 m²* – **Surface occupée :** *120m².*

FIGURE 110 : REZ-DE-CHAUSSEE

REZ DE CHAUSSEE

CRATerre d'après le projet CPR

DESCRIPTION TECHNIQUE

GROS ŒUVRE

Fondation : *semelle élargie en béton armé (B.A.)*
Soubassement : *béton maigre hydrofugé.*
Murs extérieurs du rez-de-chaussée : *murs porteurs de 40 cm en pisé stabilisé.*
Chaînage : *B.A. de 10 cm.*
Dalle : *B.A. de 12 cm.*
Murs extérieurs étage : *murs porteurs de 30 cm en pisé stabilisé.*
Chaînage et chéneau : *BA de 10 cm.*

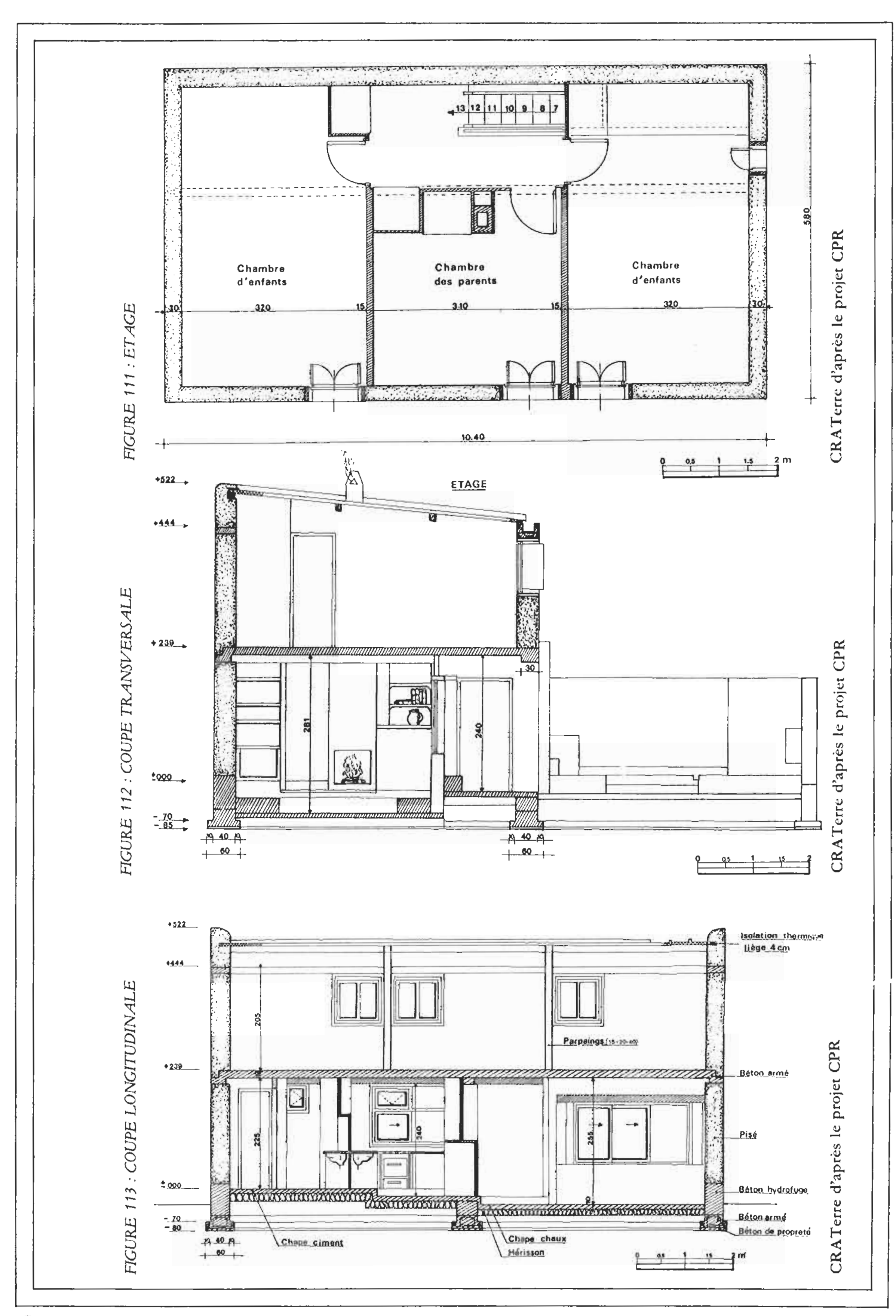


FIGURE 111 : ETAGE

CRATerre d'après le projet CPR

FIGURE 112 : COUPE TRANSVERSALE

CRATerre d'après le projet CPR

FIGURE 113 : COUPE LONGITUDINALE

CRATerre d'après le projet CPR

Toiture : *poutraison en bois. Bacs galvanisés de 0,75 mm. Isolation thermique en béton de liège de 6 cm. Etanchéité par chappe de chaux de 2 cm recouvert par feutre bitumé pax alumin de 3 mm.*
Accrotères : *pisé stabilisé recouvert de béton maigre arrondi.*
Murs intérieurs : *parpaings creux de ciment.*
Murs de jardin : *parpaings creux de ciment.*
Enduits extérieurs : *enduits batards, finition : crépi.*
Enduits intérieurs : *enduits de chaux, lissé.*
Chappes : *chappes de chaux.*
Escalier : *B.A.*
Ouvertures : *pièces préfabriquées en B.A.*
Menuiserie : *bois.*

TECHNOLOGIE DE LA TERRE

Extraction de la terre : *par bull-dozer dans une carrière située à 2 Km. Il faut soigneusement organiser cette exploitation, afin d'éviter des problèmes d'embourbement en période de pluies, ainsi que les problèmes de dégraissage de l'argile par action de la chaux active, qui rend le stock difficilement exploitable après 1 an.*



FIGURE 116 : UNE DEMONSTRATION PROBANTE

CRATerre

Correction de granulométrie : *elle est effectuée par du sable de concassage. Cette opération coûte fort cher et est à éviter. Il est cependant incontestable que cela donne d'excellents résultats.*
Préparation : *la terre est broyée et tamisée afin d'éviter tous les grumeaux au dessus de Ø= 10 mm. Cette opération devrait être mécanisée.*
Malaxage : *le malaxage était fait par bétonnière ordinaire avec trémie et balance. Cette technique est à proscrire. Un malaxeur s'impose. La terre, sable, ciment et eau sont minutieusement dosés par une trémie-balance.*
Levage : *par benne et dumper-grue.*
Echaffaudages : *sur les traverses des banches.*
Coffrages : *coffrage intégral métallique modulé.*

Les problèmes qui se posent sont les suivants :

1) Amortissement très lourd.
2) Gonflement des banches par les pressions énormes exercées par damage.
3) Poids (50 Kg par panneau).
4) Ajustage difficile.
5) L'aplomb est très difficile à tenir.
6) Mauvais fini aux reprises.
7) Les éléments préfabriqués pour les ouvertures des fenêtres et des portes doivent être minutieusement ajustés.
8) Les trous des traverses qui retiennent les banches posent plusieurs problèmes (enlèvement, bouchage, fissures, etc.)
9) Les coffrages métalliques supportent facilement 1000 manipulations.

Damage : *le matériau est damé en couches de 8 à 10 cm d'épaisseur par ces systèmes :*

1) de petites dames métalliques à main sont utilisées le long des coffrages pour donner une couche dure et très résistante.

2) au milieu, on fait un damage grossier avec des dames en fonte de 12 Kg, ou une dame pneumatique RAM 30 d'Atlas-Copco, qui fait le travail de 10 dames manuelles.

Enduits : *Il faut complètement piquer les murs. De ce point de vue, un coffrage brut est très intéressant. Même les enduits batards et les enduits à la chaux se détachent des murs. Il faut avoir le courage de faire des enduits à base de terre et stabilisés à la chaux. Il faut en effet faire « pourrir » pendant trois semaines. C'est seulement après cette période que l'enduit « colle ».*

ENGINS EMPLOYES

Malaxeur : *Rock MHC 75 T de 750 litres avec trémie de remplissage et balance. Commandes électriques. Puissance absorbée des moteurs : 40 CV.*

Dumpers : *Elba EDF 16. 1,5 tonne. Benne basculante.*

Dumper-grue : *Elba. Flèche de 6,5 m. Benne de 400 litres. Hauteur de versage : 5,6 m.*

Dames pneumatiques : *Ram 30 d'Atlas-Copco*
Compresseur Atlas-Copco VT 6
Pression de service : 8 kg/cm²
Débit : 11 m³/min.

LE MATERIAU

Granulométrie : *corrigée par adjonction de 50 % de sable de concassage. La courbe granulométrique se confond avec la courbe idéale* **(fig. 117).**

Plasticité : *Indice de plasticité Ip = 22 / Indice de liquidité Il = 40 / Limite de plasticité Lp = 18/ Limite de retrait Lr = 12,5 / Matériau de la zone plastique 10 : satisfaisant / Activité moyenne.*

Compactibilité : *Proctor Normal / T.E.O. = 15,6 % / d max. = 1750 Kg/m³ masse volumique sèche / Zone 3 = très satisfaisant.*

Chimie : *La terre employée pour le mélange est une argile rouge montmorillonite. L'analyse chimique donne les résultats suivants :*

Composantes	%	Appréciation
Insolubles	68,8	Excellent
Silicates	10,7	Bien
Sulfates	0	Idéal
Chlorures	0	Idéal
Oxydes de fer	1	Faible, bon
Carbonates	14,2	Excellent
Eau de constitution	5,7	Montmorillonite bien définie
Alumine	19,2	Argile plastique
Al/Silice	1/2,5	Montmorillonite altérée
Silice total	58,1	Parfait
Magnésie	0,7	Très bon
Conclusion		Très acceptable pour BTS

Stabilisation : *la terre est stabilisée au ciment à raison de 120 Kg/m³ de terre compactée (= 6,2 %)*

Caractéristiques du B.T.S. obtenues :

- *Masse volumique sèche = 1920 Kg/m³.*

Au bout de la cure de 28 jours :

- *résistance à la compression à sec : 52 Kg/cm²*
- *résistance à la compression humide : 30 Kg/cm²*
- *résistance à la traction à sec : 6,30 Kg/cm².*

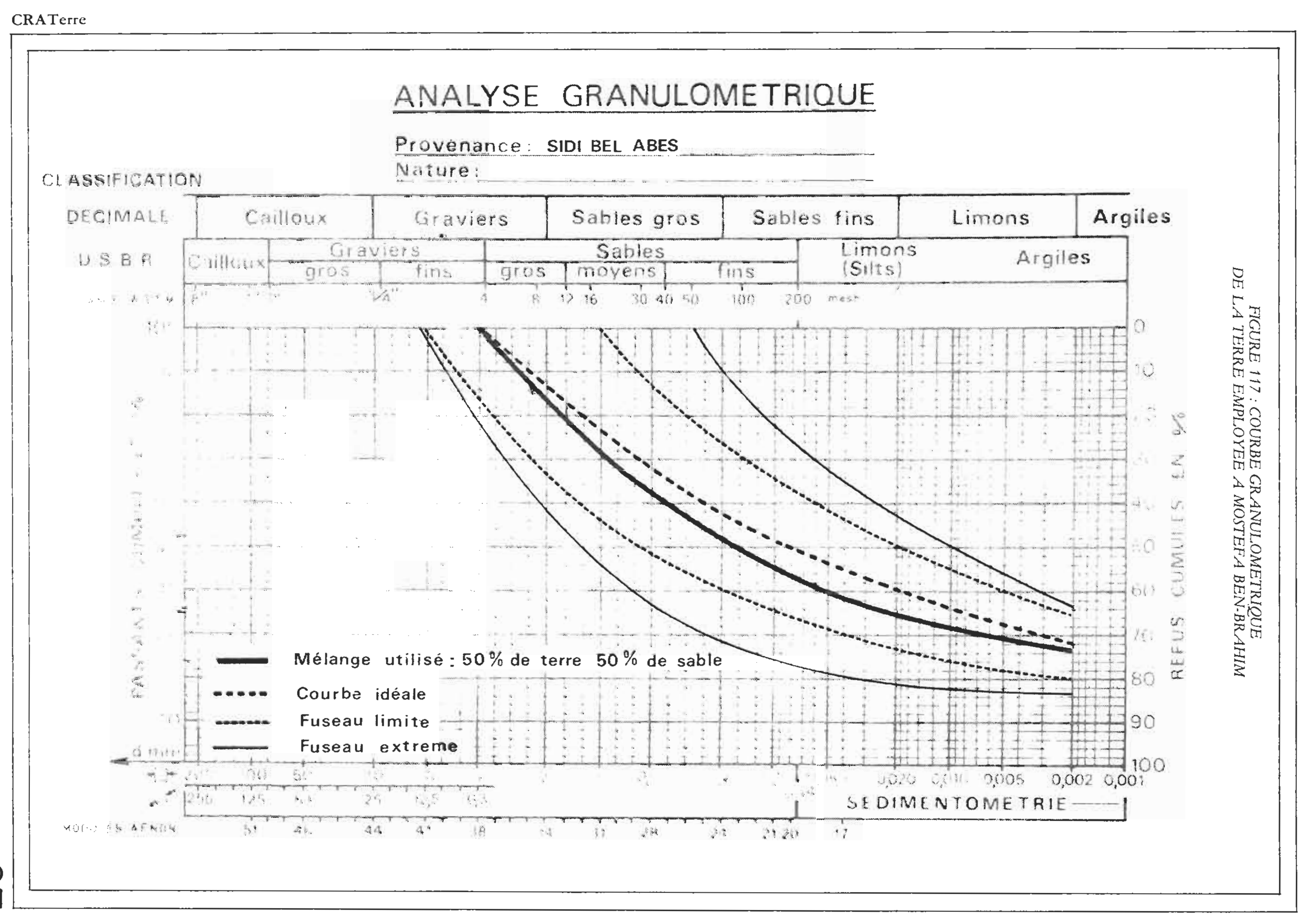


FIGURE 117 : COURBE GRANULOMETRIQUE
DE LA TERRE EMPLOYEE A MOSTEFA BEN-BRAHIM

ASPECTS FINANCIERS

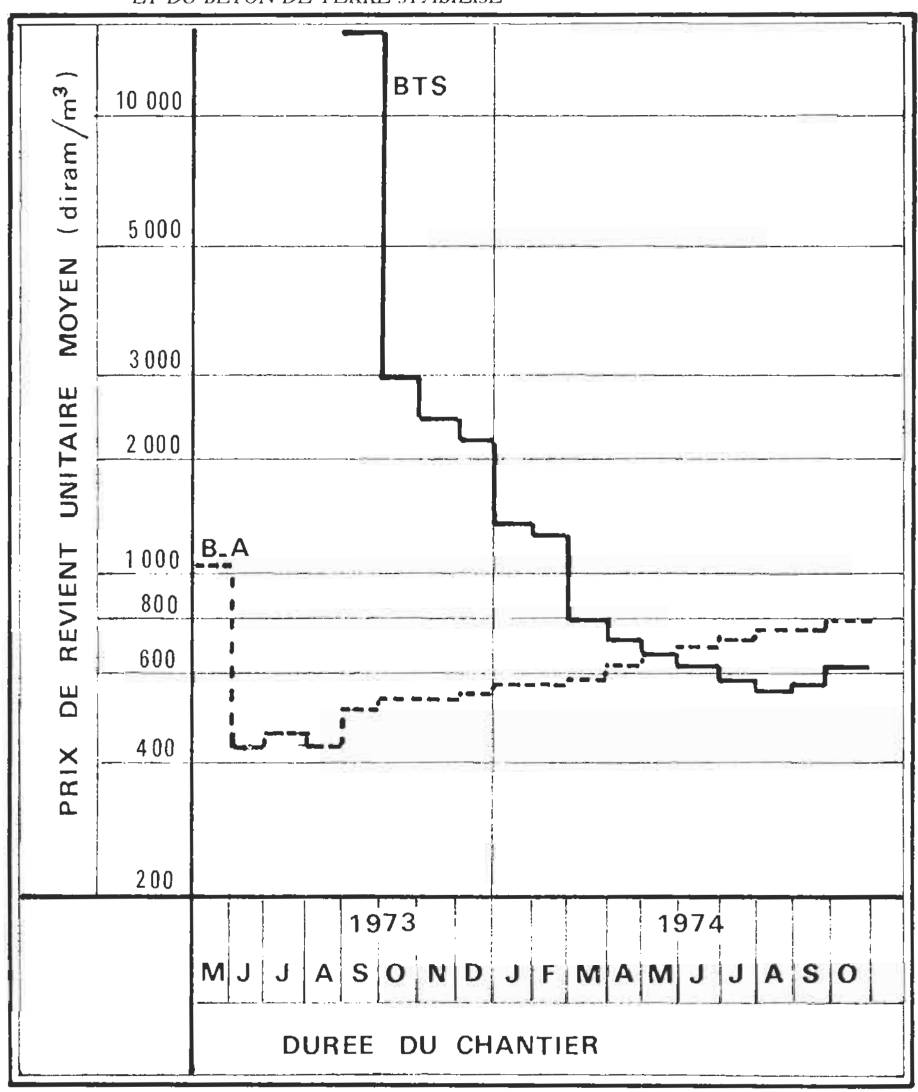
Une comptabilité serrée a été tenue au chantier. On trouve ici quelques extraits et commentaires.

Evolution du prix unitaire du BTS (fig. 118)

Décroissance spectaculaire jusqu'au 3/74. A ce moment, une décision ministérielle a limité l'expérience à 30 maisons. L'amortissement du matériel étant compté au mois, le prix de revient s'est donc stabilisé (amortissement sur 17 mois). La légère hausse au cours des derniers mois est dû à une hausse du prix du ciment et une perte d'efficacité durant les jours du Ramadan, et la fin du chantier.

Le prix, avec amortissement extrêmement lourd du matériel et des études, s'est donc stabilisé vers les 614 DA/m³. (614FF/m³ environ).

FIGURE 118 : PRIX DE REVIENT MENSUEL DU BETON ARME ET DU BETON DE TERRE STABILISE



Evolution du prix du béton

Cette courbe est donnée à titre comparatif.

Après une forte décroissance, le prix ne cesse de monter. En effet, ce n'est qu'après quelques mois de chantier que l'on attaque les pièces difficiles : planchers, escaliers, pièces préfabriquées, etc. La tendance croissante à la fin du chantier est due aux mêmes raisons que celles invoquées pour le BTS.

Analyse du prix unitaire

Dans le premier tableau on trouve une comptabilité du prix de revient unitaire obtenu sur le chantier. Le prix de revient est susceptible d'être amélioré considérablement en ne prenant en considération que des améliorations extrêmement réalistes.

ANALYSE DU PRIX UNITAIRE DU BTS

	Poste	Prix unitaire (DA/m^3)	Améliorations possibles (pour ce projet spécifique)	Nouveau prix unitaire possible (DA/m^3)
1	Agrégats	13,30	Exploitation plus efficace de carrière de sable de concassage	9,98
2	Liants	23,36	Dosage de ciment à 62,5 kg/m^3 au lieu de 120 kg/m^3 d'après essais de labo.	11,68
3	Matériaux divers	7,21	Amortissement d'une partie du matériel sur 300 maisons au lieu de 30	3,63
4	Amortissement divers	59,72	Amortis. sur minim. 300 maisons au lieu de 30	5,97
5	Amortissement engins	129,38	Amortissements plus raisonnables. Pas de charge pour engins non employés	67,28
6	Carburants	9,70	Sélection d'une carrière de sable de concassage plus proche	4,85
7	Salaires	225,60	Emploi de dames pneumatiques	169,20
8	Laboratoire	36,65	Amortissement sur village entier	3,12
9	Etudes-Admin.	108,83	Amortissement sur village entier	24,27
	Total	614	Diminution de 51,14% facilement réalisable	299,98

Dans le deuxième tableau, on retrouve une analyse des partis constitutifs du prix unitaire.

Dans les améliorations possibles, on voit qu'on n'obtient pas des changements extraordinaires dans le % des constituants et du matériel, mais que l'on peut surtout faire revenir l'étude et la supervision à un niveau normal. Et on voit que la technique employée peut faire augmenter la main-d'œuvre à 56,40 % ; ce qui le met dans un classement « labour intensif ».

ANALYSE DU PRIX UNITAIRE DU BTS

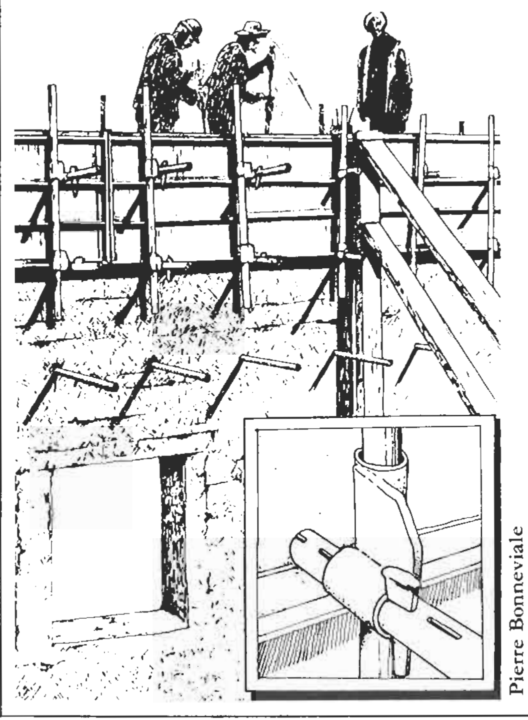
	REALITE		POSSIBLE DE REALISER	
	DA/m^3	%	DA/m^3	%
Constituant	36,66	5,97	21,66	7,22
Matériel	206,01	33,57	81,73	27,25
Etude + supervision	145,48	23,70	27,39	9,13
Main-d'œuvre	225,60	36,76	169,20	56,40
Total DA/m^3	613,75	100,00	299,98	100,00

STATISTIQUES D'EXECUTION

Opération	Temps d'exécution (h)	Critique + Amélioration	Nouveau temps d'exécution estimé
Coffrage	448	Système de coffrage inadéquat et mal conçu. Manque d'expérience. Peut être amélioré de 50%	224
Décoffrage	168	Boulon à remplacer par clavettes. Meilleur système de traverses. Amélioration possible 30%	118
Remplissage + Damage	560	Remplissage par seaux. Damage manuel. Peut être réduit de 60% Si fait par Dumper ; grues et dames pneumatiques.	224
Arrachement tubes	128	Traverses très mal conçues. Arrachement par marteau-piqueur. Amélioration possible 30%	40
Bouchage trous	32	Idem	32
TOTAL	1136	Cubage total 50 m^3 Amélioration possible de 48%	638
Temps total par m^3	27	Peut être réduit à un taux équivalent de maçonnerie normale c.a.d. 15 h.	13



FIGURE 114 : MISE EN ŒUVRE DU BTS DETAIL DU BANCHAGE



ECONOMIE DE CIMENT

	BTS	Parpaing de ciment creux
Dosage en ciment	120 kg/m^3	250 kg/m^3
Matière par m^3	1 m^3	0,5 m^3
Consommation finale en ciment	120 kg/m^3	125 kg/m^3
Consommation possible	60 kg/m^3	125 kg/m^3
Economie éventuelle par maison	3 t	
Economie par chantier de 300 maisons	900 tonnes représentant 225000 DA en devises	
Observation	Le résultat est plus que discutable. Pour obtenir des économies spectaculaires il faut que toute la conception soit revue et que l'on mise sur la terre à 100%	

FIGURE 119 : ZERALDA

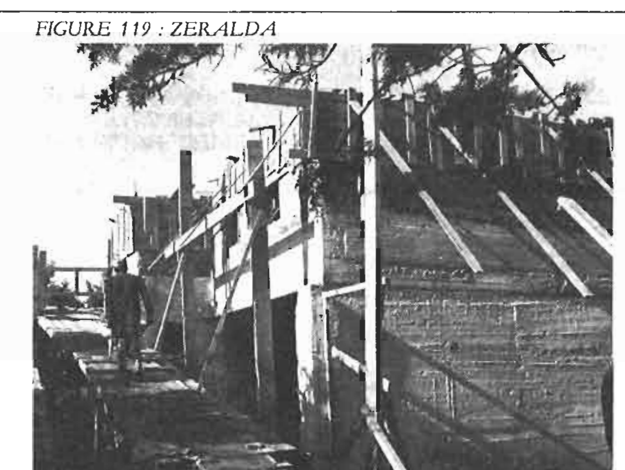


FIGURE 120 : PETROPOLIS



Une variante : le banché coulé

La méthode consiste à couler de la terre à l'état liquide, comme du béton, directement dans le banchage.

L'EXPERIENCE DE ZERALDA

En 1972/73, trois maisons furent construites à Zéralda (Algérie) sur le domaine présidentiel (domaine de « La Forêt des Planteurs »). Elles étaient destinées aux gardes forestiers **(fig. 119).**

Ces maisons ont été bâties par les chantiers populaires de la révolution agraire ; les constructions de terre ne rentrant pas dans les normes officielles et étant par la même prohibées à l'époque, ces maisons devaient servir de bâtiments témoins. C'est certainement plus par une méconnaissance de la technologie de mise en œuvre du matériau que par souci de faire une expérience scientifique probante que l'on a choisi le banché-coulé, le résultat n'en fut pas moins intéressant. Le chantier se déroula pendant les mois de novembre, décembre et janvier. Aucun contrôle n'a été effectué, ni sur la mise en œuvre, ni sur les dosages.

MISE EN ŒUVRE : Les coffrages en bois faisaient tout le tour du bâtiment. Ils représentèrent un investissement très important, puisque le prix des coffrages des trois maisons était équivalent au prix d'une de ces maisons. La terre était amenée dans les banches à la brouette, ce qui nécessita des plans inclinés à faible pente. Les coffrages étaient déplacés tous les trois jours : un jour de coulage, et deux jours de séchage.

La terre employée était très mauvaise et mélangée de terre végétale. Elle était stabilisée avec 7 à 8 % de chaux hydraulique. En cas de pénurie, la chaux était remplacée par du ciment. La boue était versée par couches de 30 cm dans les banches, les murs mesurent 40 cm d'épaisseur. On décoffrait deux jours après.

Les fissures furent nombreuses, mais une fois rebouchées, les murs prirent une consistance tout à fait remarquable. Ceux-ci se stabilisèrent au bout de 6 mois environ. Les maisons furent chaulées immédiatement mais non enduites à l'extérieur.

En conclusion : une mise en œuvre à l'encontre de toutes les règles de l'art mais des résultats techniquement très probants, les finitions étant entièrement à revoir.

EXPERIENCE DU BRESIL

En 1943 des maisons ont été construites à Pétropolis selon la technique du béton de terre stabilisée banchée sous forme de boue. Celle-ci était amenée dans les banches par une pompe à béton.

Les maisons ont été laissées sans protection pendant six mois. Après cette période toutes les fissures ont été soigneusement réparées, et le second œuvre commencé. Les maisons sont actuellement toujours en service et dans un état impeccable **(fig. 120).**

FIGURE 121 : EXPERIENCE D'« ADOBE COULEE » AUX ETATS-UNIS

ETAPE 1 : LES MOULES DE 1 × 0,4 × 0,4 M SONT POSES SUR LE MUR A INTERVALLES REGULIERS, PUIS REMPLIS D'UN MELANGE DE TERRE, LIQUIDE. ON DEMOULE APRES QUELQUES HEURES.

ETAPE 2 : APRES SECHAGE, LES INTERVALLES SONT REMPLIS DE TERRE. LES DEUX PETITES BANCHES SONT RELIEES ENTRE ELLES PAR UN FIL DE FER QUI SERA COUPE ENSUITE.

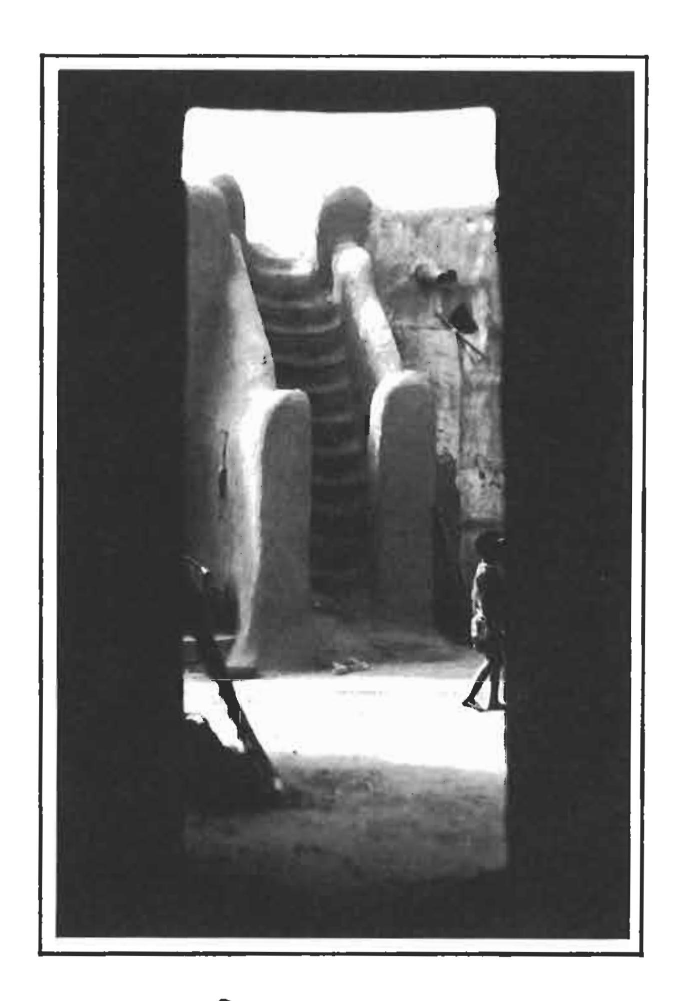
CETTE FAÇON DE PROCEDER, EN DEUX ETAPES, EVITE LA FORMATION DE FISSURES DE RETRAIT.

étape 1

étape 2



KEB



2. FAÇONNAGE DIRECT et BAUGE

C'est une technique qui permet de modeler des formes directement sans l'aide de moule ou de coffrage, en utilisant la plasticité des sols humides.
La terre ne sert pas à remplir une armature comme pour le torchis, mais on la façonne directement comme une poterie.
La qualité plastique du matériau est donc le facteur essentiel de la mise en œuvre. Il s'agit de trouver l'état de consistance intermédiaire entre un sol trop sec et impossible à façonner et une boue trop humide, manquant de cohésion.
L'Afrique Noire et le Yémen offrent les réalisations les plus remarquables atteignant parfois une sensibilité architecturale et une connaissance du matériau difficiles à égaler. Nous présentons donc ces exemples d'une construction, par ailleurs très répandue dans le monde, et plus particulièrement les développements de cette technique en Europe.

AFRIQUE NOIRE

On utilise beaucoup la méthode du façonnage direct au Sahel et dans les régions équatoriales, bien que les pluies y soient abondantes en saison humide et souvent violentes au point d'éprouver sévèrement les constructions. A la campagne les cases et greniers, en ville les mosquées et immeubles, sont édifiés de cette manière.

La composition des terres utilisées n'a pas été étudiée systématiquement. C'est en général un sable argileux sans gravier. Les régions latéritiques fournissent les terres les plus durables. Les stabilisants et les améliorants du sol, comme les fibres et la paille, n'entrent que très rarement dans la composition des murs. On les emploie de préférence dans les enduits.

Exemple d'habitat rural en concession

Au Cameroun, en Haute-Volta, au Ghana, etc. les concessions regroupent tous les membres d'une même famille.

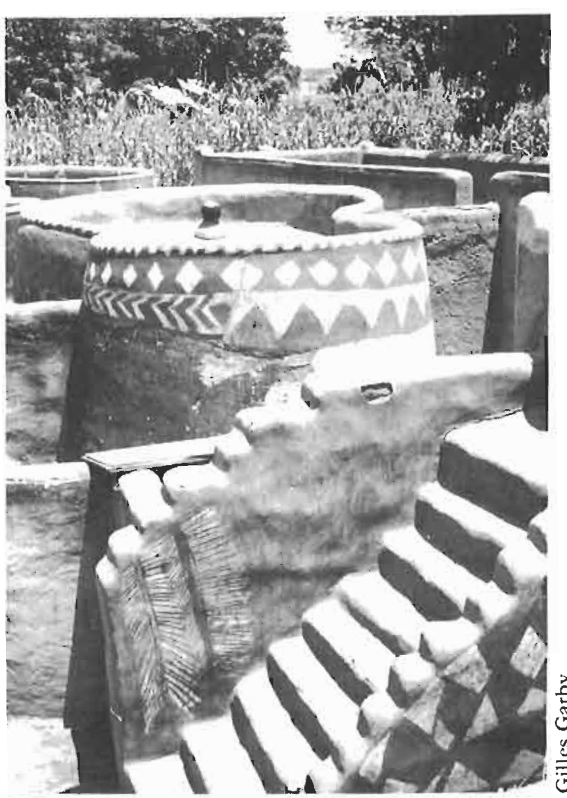
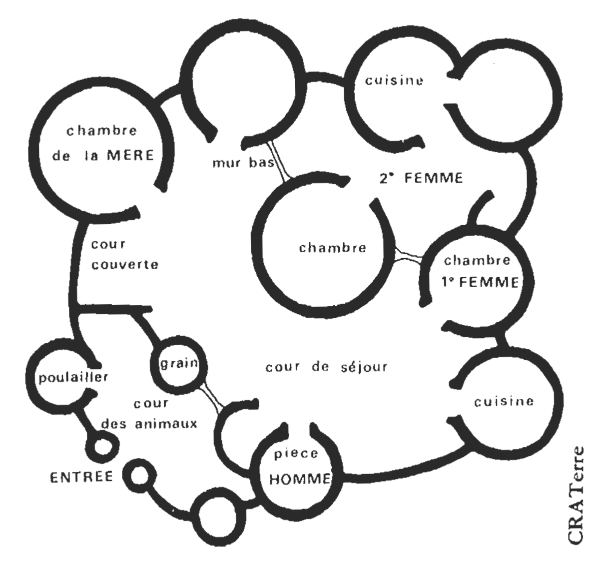


FIGURE 122 : HAUTE-VOLTA

Les cases qui forment la concession sont reliées par un mur et délimitent ainsi une cour intérieure, ne comportant souvent qu'une seule ouverture sur l'extérieur ; l'accès aux cases se fait obligatoirement par cette cour. Chaque case est indépendante et répond à un usage bien spécifique et temporaire : chambre du mari, de la femme, cuisine, grenier etc.

Le plan **(fig. 123)** est celui d'une concession Nabdam à Nangadi dans le nord du Ghana. Les Nabdams sont des agriculteurs sédentaires regroupés sur la base de la famille. Les concessions comptent donc, au minimum, un homme, sa femme et ses enfants mais peuvent aussi englober le chef de famille, ses frères et leur famille.

FIGURE 123 : EXEMPLE DE CONCESSION



Autour de chaque concession familiale se trouve le jardin où l'on cultive le tabac, les courges, les tomates et tous les légumes courants, à l'intérieur, un espace – isolé des endroits habités par des murets – est réservé aux animaux. C'est là qu'on les parque durant la nuit, en cas de dangers extérieurs ou de tensions sociales.

Le grenier est à la fois un objet économique important et un élément symbolique. Il apparaît comme le pivot et le centre de rayonnement des différents espaces. Dans les petites concessions, il se trouve entre la cour des animaux et l'espace-séjour. Dans une société agricole où la vie de la communauté dépend de la gestion appropriée du grain, le grenier revêt un caractère primordial. Il représente également l'unité de la famille : posséder une réserve de grains indépendante est souvent un prétexte à la séparation.

Toutes les modifications de la famille (mariages, départs...) impliquent un remodelage des cases de la concession ; et le mode de construction en unités indépendantes sans forme rigide s'adapte admirablement à toutes les transformations. Les cases sont de petite taille (10 m^2 au maximum, et 2 à 3 m de haut).

Le matériau aisément disponible permet l'édification rapide de nouvelles cases, qui peuvent se regrouper autour de la cour principale ou former une cour secondaire.

Construction d'une case

La terre extraite du sol est mise en tas, mouillée d'une légère quantité d'eau et malaxée pour obtenir une pâte homogène et plastique (15 à 20 % d'eau). Pour la malaxer on peut la fouler du pied, tout en retirant les éléments impropres, racines et cailloux. Le pétrissage demande souvent une demi-journée.

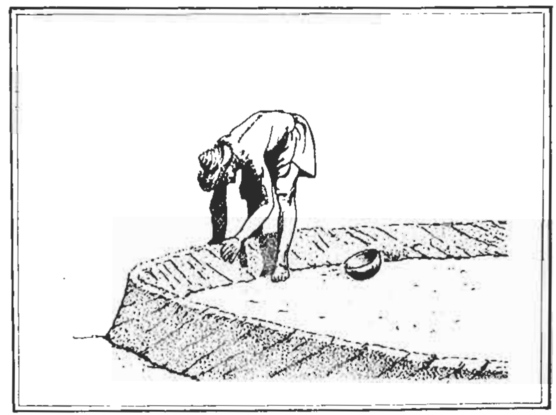

CRATerre

FIGURE 130 : LE MAÇON FAÇONNE A LA MAIN LA PREMIERE ASSISE

Les murs, peu épais (10 à 30 cm à la base et 5 à 15 cm au sommet), reposent sur un soubassement plus large (30 cm de haut) pouvant servir de banc.

Pour construire les greniers, on part d'un plancher de terre renforcé de bois et posé sur de grosses pierres ou sur des pieux enfoncés dans le sol, isolant ainsi de l'humidité pendant les saisons de pluie.

Le soubassement terminé et suffisamment sec, le maçon élève les murs. A partir du mélange de terre, des ouvriers façonnent des boules de 15 à 20 cm de diamètre, et de 3 à 4 kg pour les lancer au maçon. Celui-ci les plaque fortement les unes aux autres en formant un cordon sur le tracé du mur. Le maçon progresse à reculons en inclinant les boucles à 45° . Il réalise ainsi plusieurs cordons superposés jusqu'à une hauteur de 50 à 70 cm. Cette première assise achevée, les faces sont retouchées, lissées et talochées avec un coupe-coupe ou une piere plate. On laisse sécher l'ouvrage 2 à 3 jours avant de commencer l'assise suivante.

La construction s'élève petit à petit par assises de moins en moins hautes. A défaut d'échafaudage le maçon s'assied à califourchon sur le mur sec. La faible épaisseur des murs et la plasticité du matériau permettent d'élever la construction comme une poterie au colombin par un simple modelage à la main. Habituellement il faut deux ouvriers pour façonner et apporter les boules de terre à un maçon. Plusieurs équipes peuvent travailler ainsi sur la même assise, le travail est alors rapidement terminé et le séchage plus homogène.

FIGURE 131 : CONSTRUCTION COLLECTIVE D'UNE CASE


ADAUA

Une fois les murs montés, on pose un toit de chaume ou en terrasse. Un enduit en mortier de terre stabilisée aux jus de plantes recouvre les murs de la cour intérieure, qui sont richement décorés de peintures ou d'incrustations.


ADAUA

FIGURE 132 : CONSTRUCTION COLLECTIVE

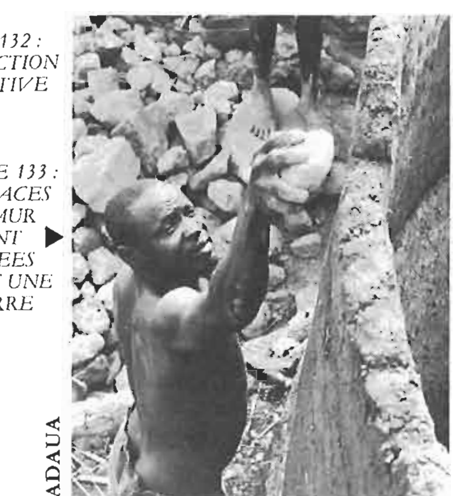
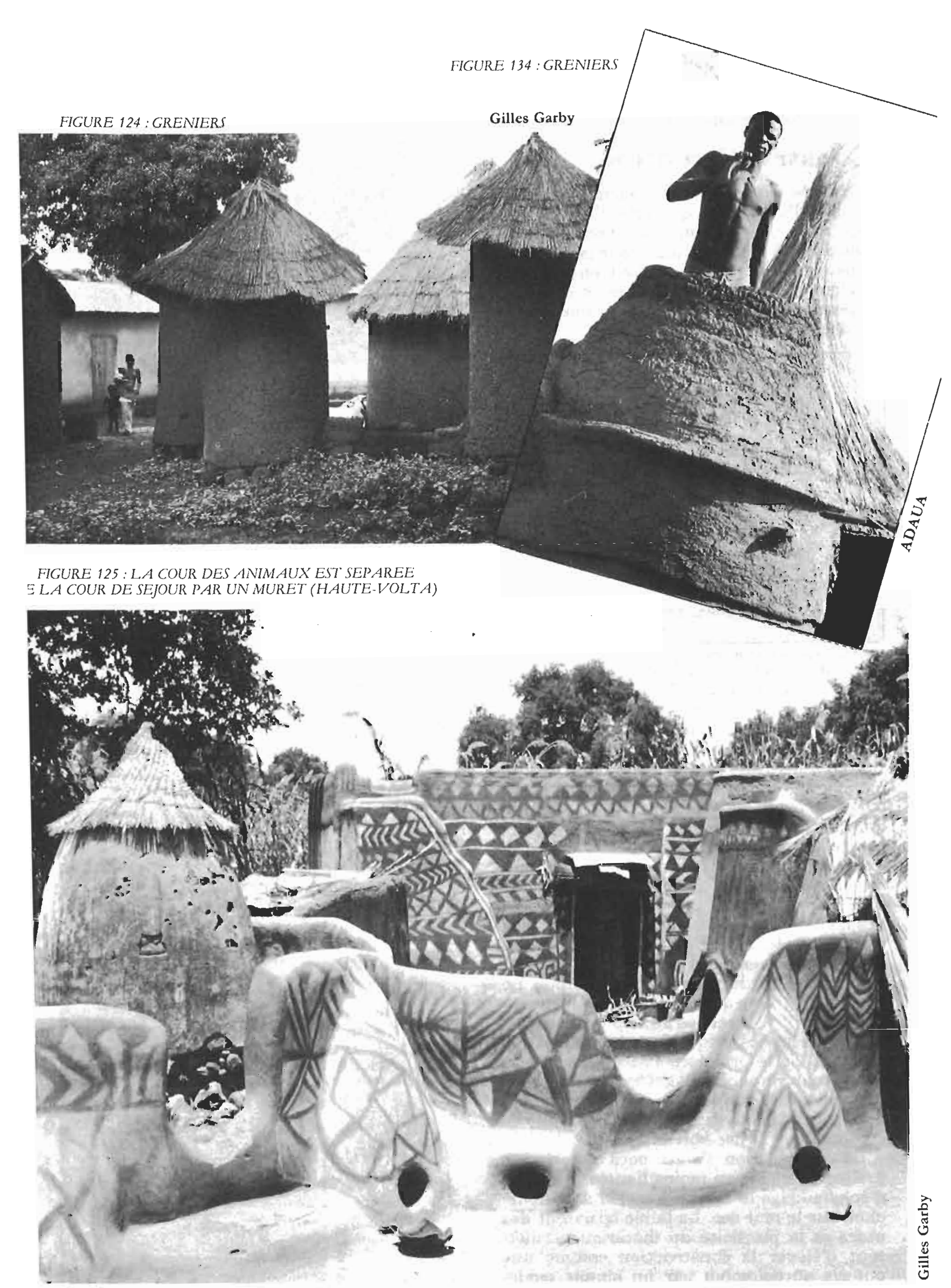

ADAUA

FIGURE 133 : LES FACES DU MUR SONT LISSEES AVEC UNE PIERRE

FIGURE 134 : GRENIERS

FIGURE 124 : GRENIERS

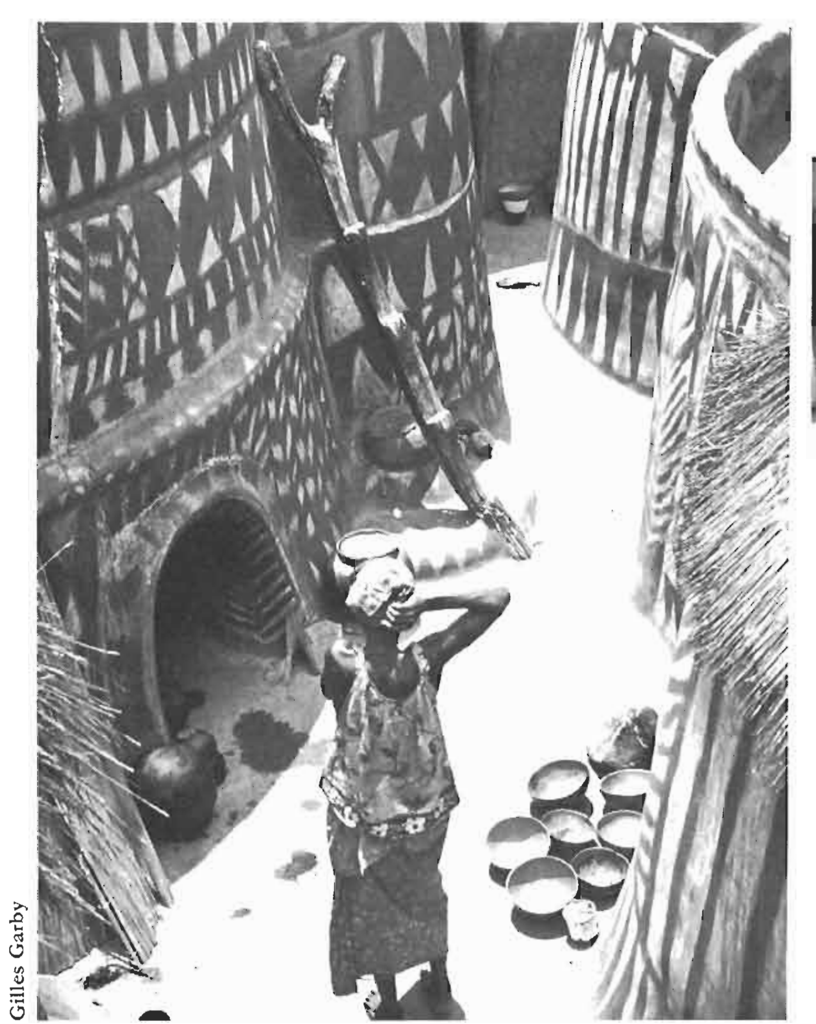
Gilles Garby



ADAUA

FIGURE 125 : LA COUR DES ANIMAUX EST SEPAREE
E LA COUR DE SEJOUR PAR UN MURET (HAUTE-VOLTA)

Gilles Garby



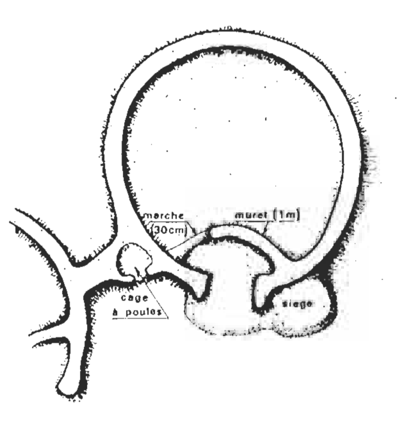
Gilles Garby

◄ *FIGURE 126 : HAUTE-VOLTA*



Gilles Garby

▲ *FIGURES 127/128 : POULAILLER* ▼



CRATerre

FIGURE 135 : NIGER

Smuh

Max et Suzanne Hirschi

FIGURE 136 : VUE PARTIELLE DE SA'DAH, DANS LE NORD DES PLATEAUX DESERTIQUES

LA CONSTRUCTION DE TERRE AU YEMEN DU NORD *

Dans les vastes plaines semi-désertiques limitrophes du désert, à l'est et au nord-est du pays la terre constitue le matériau de construction de base. Comme dans la presque totalité du Yémen, les habitations de ces régions sont construites en hauteur et présentent une allure fière et élancée, certaines d'entres elles comptent cinq étages. Les maçons yéménites qui utilisent la terre pour la construction des murs connaissent deux techniques distinctes de mise en œuvre :

- La première se caractérise par l'emploi d'un plot de terre crue de 19 × 19 × 8 cm que l'on empile sur plusieurs rangées pour édifier les murs de la maison, tous porteurs dans ce type d'architecture.
- La deuxième technique appliquée par les bâtisseurs yéménites semble plus originale car elle est en quelque sorte une exclusivité de l'architecture de terre au Yémen. Pour la construction des murs les maçons fabriquent sur place un espèce de gros boudin de boue qu'ils façonnent sur une couche antérieure en faisant le tour de la maison **(fig. 138)**. Ils répètent ensuite cette opération autant de fois que nécessaire en respectant entre chaque couche un temps de séchage minimum, ceci leur permet de réaliser des murs sans coffrage qui peuvent facilement atteindre près de 18 m de haut.

La plus grande partie des maisons en terre du Yémen, et plus particulièrement toutes les maisons de la moitié nord des plateaux désertiques, sont construites selon

FIGURES 138/138 bis : LES MAÇONS FABRIQUENT SUR



Max et Suzanne Hirschi

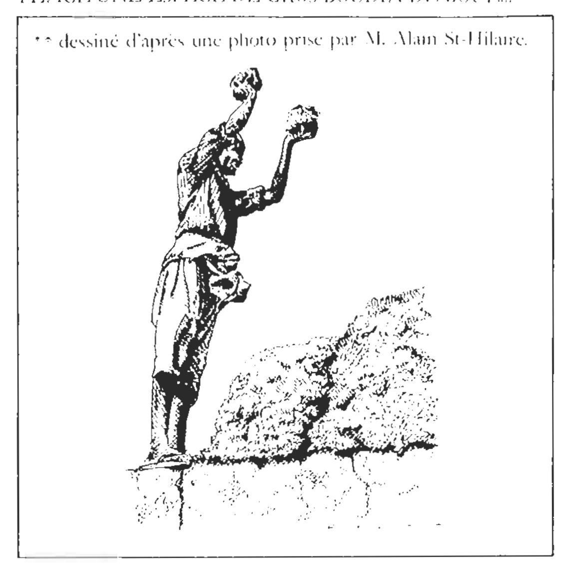
ce procédé qui détermine dans une large mesure leur aspect architectural.

En façade on distingue en effet très nettement les différentes assises de terre constituant le mur qui se détachent les unes des autres grâce à des joints en creux importants. On peut également observer que les bandes horizontales visibles sur ce type de façades se relèvent en proue au quatre coins des maisons jusqu'au niveau du couronnement où l'on distingue des acrotères cornus. Cette surélévation des assises aux angles est due à la présence au niveau du sol, en cet endroit seulement, de gros blocs de pierre partiellement enterrés et faisant office de fondations. Etant donné la rareté de la bonne pierre ainsi que la sécheresse du climat dans cette partie du Yémen on considère en effet que l'on peut se passer de véritables fondations ; en dehors des quatre coins de la maison les murs sont donc généralement construits à même le sol.

Pour la fabrication des assises qui constituent le mur on emploie une terre argileuse que l'on mélange à du sable, de la paille et de la balle de céréales, puis on ajoute de l'eau jusqu'à obtention d'une bonne plasticité. Après avoir foulé le mélange aux pieds on fait reposer celui-ci pendant deux jours pour laisser à la paille le temps de s'imbiber d'eau et rendre le matériau plus homogène. La matière ainsi obtenue est ensuite lancée sous forme de pâtés humides, semi-compacts, par un aide, au maçon qui se tient sur le mur déjà construit et qui met en forme la nouvelle couche du mélange terreux (le « boudin ») qu'il n'oubliera pas de compacter avec ses poings pour former une masse homogène **(fig. 138 et 138 bis)**.

PLACE UNE ESPECE DE GROS BOUDIN DE BOUE...

** dessiné d'après une photo prise par M. Alain St-Hilaire.



Lorsque la nouvelle couche est étalée sur tout le pourtour de la maison ainsi que sur tous les murs de refend, le maçon va, au bout de quelques heures, la tasser violemment avec les pieds et en lisser sa surface extérieure ; après quoi il laissera sécher l'assise ainsi terminée pendant deux jours environ.

Des ouvertures sont réservées pour les fenêtres, à l'endroit choisi, par simple interruption d'une couche ou deux (selon la hauteur qu'on veut donner à la fenêtre). Audessus de l'ouverture on place un linteau. Celui-ci est généralement constitué par une planche ou des branchages, ainsi la couche suivante peut à nouveau être étalée en continuité. Par contre les meurtrières ou petits percements sont simplement découpés à l'aide d'une petite houe dans la section d'un « boudin » de boue non encore complètement sec.

Les planchers des maisons de terre sont construits à l'aide d'une série de poutres (troncs d'acacia) que l'on appuie sur les murs de refend tous les 60 cm environ ; pardessus on dispose perpendiculairement une couche de branchages sur laquelle on vient ensuite tasser de la terre.

Le toît plat des maisons yéménites est réalisé de la même manière qu'un plancher d'étage mais il est généralement enduit d'un mortier « imperméable » fait avec du sable et de la chaux. Il doit être inspecté après chaque grande pluie et réparé si cela s'avère nécessaire.

L'escalier des maisons en terre est généralement construit sur un plan carré. D'un étage à l'autre il est formé de trois ou quatre volées de 3 à 5 marches hautes de 30 cm environ, prenant appui sur un pilier central. Les volées sont construites comme un plancher incliné constitué de poutres et de branchages sur lesquels la terre est modelée en forme de marches.

Le plan des maisons de terre généralement carré ou rectangulaire varie selon la grandeur de la maison. Dans un coin on trouve le traditionnel escalier à 4 volées qui distribue les étages.

La façade de la maison de terre yéménite ne comporte généralement que de rares et petites ouvertures dans les étages inférieurs tandis qu'à l'étage supérieur on trouve une rangée d'ouvertures de plus grandes dimensions qui sont souvent surmontées d'un percement en forme de demicercle comprenant un vitrail.

Il faut noter aussi, la présence sur les façades en terre du tracé blanc de plâtre (goss) qui est destiné à souligner et encadrer certains éléments constituants de la façade.

Ce crépissage décoratif, ainsi que la fenêtre couronnée par une ouverture en demi-

cercle, sont des éléments très caractéristiques de l'architecture yéménite. Ceux-ci sont néanmoins présents sous une forme plus élaborée sur les façades en brique et en pierre des hauts et moyens plateaux du Nord-Yémen.

La maison des **figures 139 et 139 bis** est construite dans le nord du pays, à Sa'dah, une ville de 4.350 habitants dans laquelle toutes les maisons sont construites en terre selon la technique décrite ci-dessus. C'est une maison de deux étages assez modeste qui appartient à un réparateur et vendeur de djambias (poignard traditionnel yéménite). Celui-ci habite l'étage supérieur tandis que sa femme et ses trois enfants habitent le premier étage. La chambre du deuxième étage ainsi que celle de la femme et des enfants sont blanchies au plâtre. Les murs de ces pièces sont pourvus de niches. Le reste des murs intérieurs de la maison sont crépis avec un enduit de boue.

Cette maison est dans l'ensemble saine et bien entretenue. Les ouvertures en façade sont suffisamment grandes pour assurer une bonne ventilation et un éclairage naturel satisfaisant dans les différentes pièces. L'escalier reçoit la lumière par des meurtrières en façade.

* extrait de « L'architecture traditionnelle au Yémen du Nord », Suzanne et Max Hirschi. Berger-Levrault éditeur (parution prévue fin 1979).



Max et Suzanne Hirschi

FIGURES 139/139 bis : UNE MAISON TRES CARACTERISTIQUE DE L'ARCHITECTURE YEMENITE, A SA'DAH

CUISINE
HOMME
PLAN DU DEUXIEME ETAGE
WC
FEMME ENFANTS
ENFANTS
PLAN DU PREMIER ETAGE
TERRASSE
HOMME
ENFANTS
ENTRÉE
NIV SORTIE EN TERRASSE 9.00
NIV. CUISINE 6.00
NIV WC 3.00
10.00
7.00
3.50
0.00
COUPE A-A

Max et Suzanne Hirschi


CRATerre

FIGURE 142 MAISON EN « COB » (ECOSSE)

EUROPE

En France, cette technique est désignée sous le nom de bauge. Connu également dans de nombreux pays européens, ce type de maison supporte aisément les hivers froids et venteux de régions pourtant réputées pour leur climat humide : Cornouailles, Dorset, Devon, Ecosse...
Au Devon ou en Ecosse, des cottages en « cob » à un ou deux niveaux forment parfois des villages entiers. Ce n'est donc pas un mode de construction mineur bien que son nom soit souvent associé aux bâtiments agricoles minimes (Bauge à cochons, remises en bauge etc.).

En France, l'exemple le plus connu de construction en bauge est certainement la Bourrine vendéenne.

Le matériau

a)**La terre :** La terre sableuse « demi-grasse » constitue le meilleur matériau pour la bauge. Un sol trop riche en argile serait en effet beaucoup plus difficile à travailler et demanderait un séchage trop long.

L'analyse granulométrique d'échantillons de terre prélevées sur des maisons du Devon (Angleterre) a donné les résultats suivants : 33 % – argile 21 % – (paille 1,6 %).

Ces résultats correspondent aux terres les plus fréquemment utilisées pour le pisé. En Angleterre les maisons en « cob » voisinent quelquefois avec celles en pisé. Mais ces dernières y sont rares car il est difficile d'y trouver un sol suffisamment sec pour pouvoir être bien compacté.

b)**Les fibres :** on ajoute presque toujours à la terre des fibres végétales, paille, bruyère, balle de grain etc. Leur rôle est multiple.

Elles augmentent d'une part la résistance à la traction et par conséquent la souplesse du matériau. Une terre ordinaire, en effet, ne peut supporter que de faibles efforts de flexion, alors qu'un sol armé sera capable de subir des déformations importantes sans se fissurer. Cette élasticité empêche le mur de se craqueler au séchage, les fibres répartissant dans toute la masse du matériau les tensions provoquées par le retrait de l'argile. D'autre part, le volume qu'elles occupent dans le mur diminue sa densité et améliore ses qualités isothermiques.

Les proportions de fibres habituelles varient autour de 25 kg par m^3 de terre (1,6 %). Ce pourcentage pondéral peut paraître faible alors qu'il représente, en volume,

environ 250 litres de fibres pour 1000 litres de terre.

On coupe la paille en morceaux de 15 à 40 cm avant de la mélanger au sol.

Mise en œuvre

La terre, extraite du sol, est étalée sur une couche de 20 cm d'épaisseur. Avec un croc à 4 ou 5 dents, on la débarrasse de tous les éléments impropres et on brise les mottes les plus grosses. La terre est ensuite humidifiée jusqu'à l'obtention de la consistance d'un mortier épais (environ 20 % d'eau).

On prépare ensuite, tout autour de la maison, des tas circulaires de 1,3 m de diamètre. On commence par une couche de terre de 10 cm sur laquelle se tient un ouvrier. Celui-ci répand de la paille sur cette couche, et, en la piétinant, la force à pénétrer dans la terre. Une fois la paille correctement mélangée, on remet de la terre, puis de la paille, et ainsi de suite, jusqu'à ce que le tas atteigne 1 m de haut. La paille, si nécessaire, sera arrosée d'eau après chaque couche. On laisse reposer le mélange pendant une journée avant de l'utiliser.

On peut aussi préparer la terre en l'étalant en couche sur une grande surface et en la faisant piétiner par des animaux.

Un soubassement massif de pierres ou de briques recouvert d'un matériau isolant de l'humidité forme l'assise de la maison. Un ouvrier debout sur un des tas de terre, muni d'un trident, fait passer des fourchées du mélange au maçon. Celui-ci les reçoit, les étale sur le mur et les piétine fermement du talon. La masse de terre ainsi formée doit déborder de 5 à 10 cm des côtés du soubassement, pour permettre le découpage des parements, une fois le mur terminé. On réalise ainsi une première assise de 0,6 à 1 m de haut **(fig. 144)**.

Après cinq jours de séchage, des planches de bois sont posées sur le sommet du mur comme gabarit, leur bord extérieur en matérialisant l'arête. Le maçon se tient sur ces planches et, avec une bêche spéciale, affûtée en triangle, il découpe dans la bauge des saignées verticales en se servant de la planche comme guide, et réalise ainsi le parement du mur.

Sur toutes les surfaces fraîchement arasées, avec une sorte de râteau, un ouvrier creuse de biais tous les 7 cm des trous de 2 cm de diamètre, qui serviront à accrocher l'enduit. Dans le même but, les surfaces de parement lisses sont parfois bardées de petits éclats de briques enfoncés dans la bauge et dépassant de 1 cm.

Après une ou deux semaines de séchage, l'assise suivante est mise en place, puis travaillée de la même façon.

A tous les endroits fragiles, où des fissures peuvent apparaître (angles des fenêtres et des portes), on place dans la masse du mur des bâtons de bois enduits d'une bouillie de terre.

La bauge est assez longue à sécher, et par temps pluvieux il est parfois nécessaire d'attendre 3 semaines entre chaque assise. Ainsi, bien que la mise en œuvre soit assez rapide, puisque 4 hommes peuvent réaliser en une journée 15 m^2 de mur de 60 cm d'épaisseur, la construction d'une maison entière est très longue. Le séchage n'étant pas possible l'hiver, on entreprend les travaux dès le début du printemps pour pouvoir poser le toît avant l'hiver. Actuellement il n'y a pas de méthode de séchage artificielle à part un bon feu à l'intérieur, mais même dans de telles conditions une maison n'est habitable que plusieurs mois après sa finition.

Les maisons ont généralement un seul étage, la construction en est ainsi plus rapide. Les murs mesurent à peu près 45 cm d'épaisseur, celle-ci pouvant aller jusqu'à 80 cm pour des maisons de 2 à 3 niveaux.

Une maison en bauge exige une excellente isolation de l'humidité : avec « un bon chapeau et une bonne paire de bottes » un bâtiment peut durer plusieurs siècles. Pour prévenir les fuites du toît, une protection supplémentaire (feutre asphalté, tuiles etc.) recouvre généralement la tranche supérieure du mur. Dans ce genre de construction, les enduits sont indispensables. Enfin, à chaque fenêtre, des appuis saillants protègent du ruissellement de la pluie **(fig. 145)**.

FIGURE 145 : MAISON EN « COB » DU DEVON (ANGLETERRE)

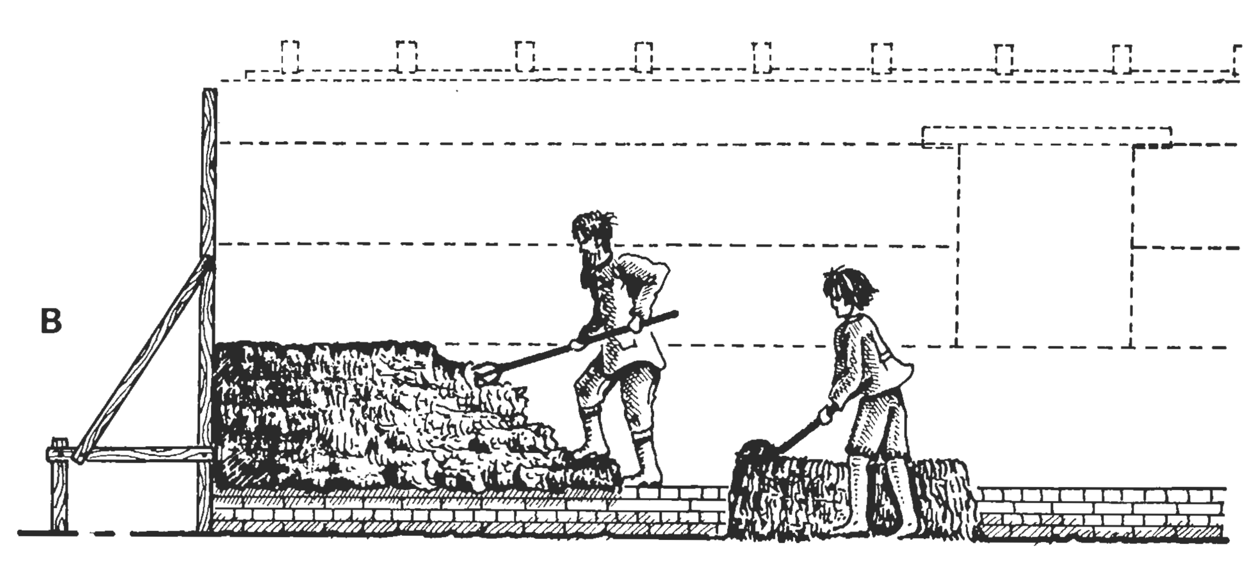


CRATerre

FIGURES 144 : CONSTRUCTION D'UN MUR



A : PREPARATION DU MELANGE : TERRE-PAILLE



B : ELEVATION DU MUR

C : DECOUPAGE DES PAREMENTS DU MUR A L'AIDE D'UNE BECHE TRANCHANTE ET PREPARATION DES SURFACES QUI RECEVRONT UN ENDUIT

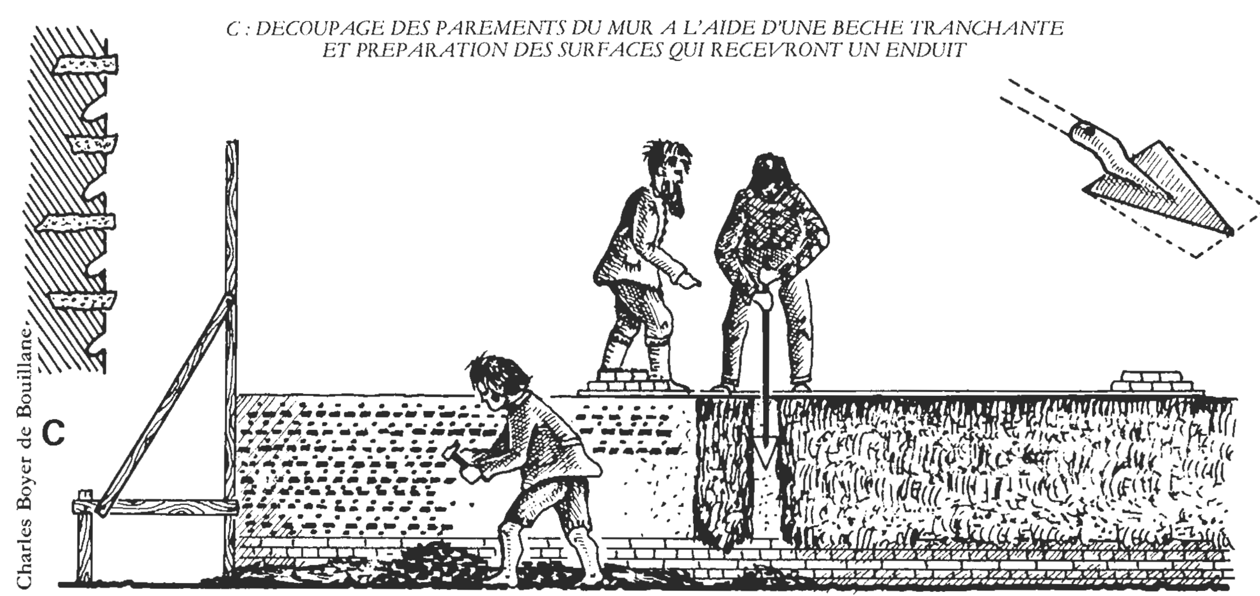


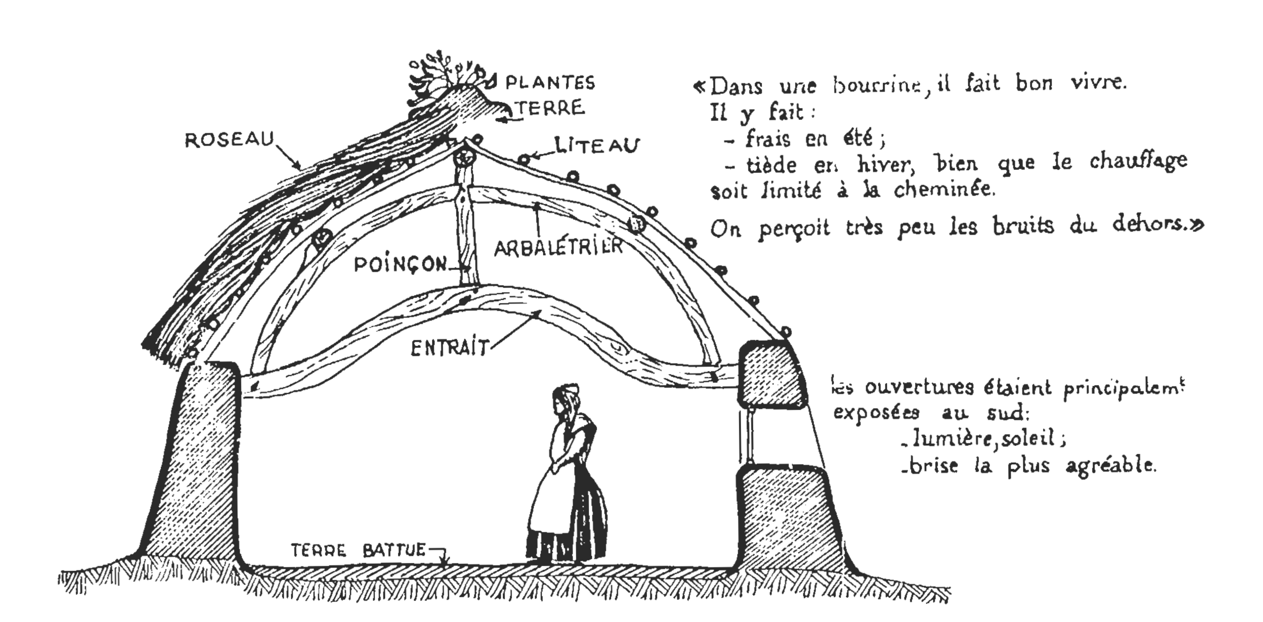
FIGURE 143

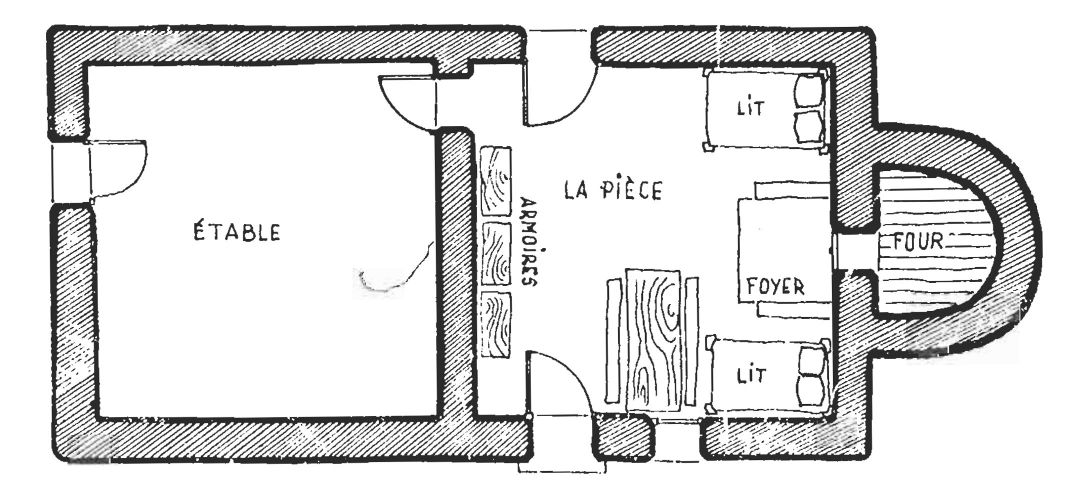
Jean Florence : "Bibliothèque du travail"

LA BOURRINE VENDEENNE

FOUR

Bourrine à Saint-Hilaire-de-Riez (Vendée)





Jean Florence


Jacques Debiesse

en conclusion

LES AVANTAGES de ce mode de construction peuvent se résumer ainsi :

– Comme il ne demande ni coffrage, ni moule, l'éventail des formes possibles est très grand.

– Présente une excellente solution si le sol naturel est trop humide pour le pisé.

– Réalisée grâce à un minimum de main d'œuvre, la construction peut être très économique.

– Permet de résoudre facilement le problème de « l'accrochage des enduits ».

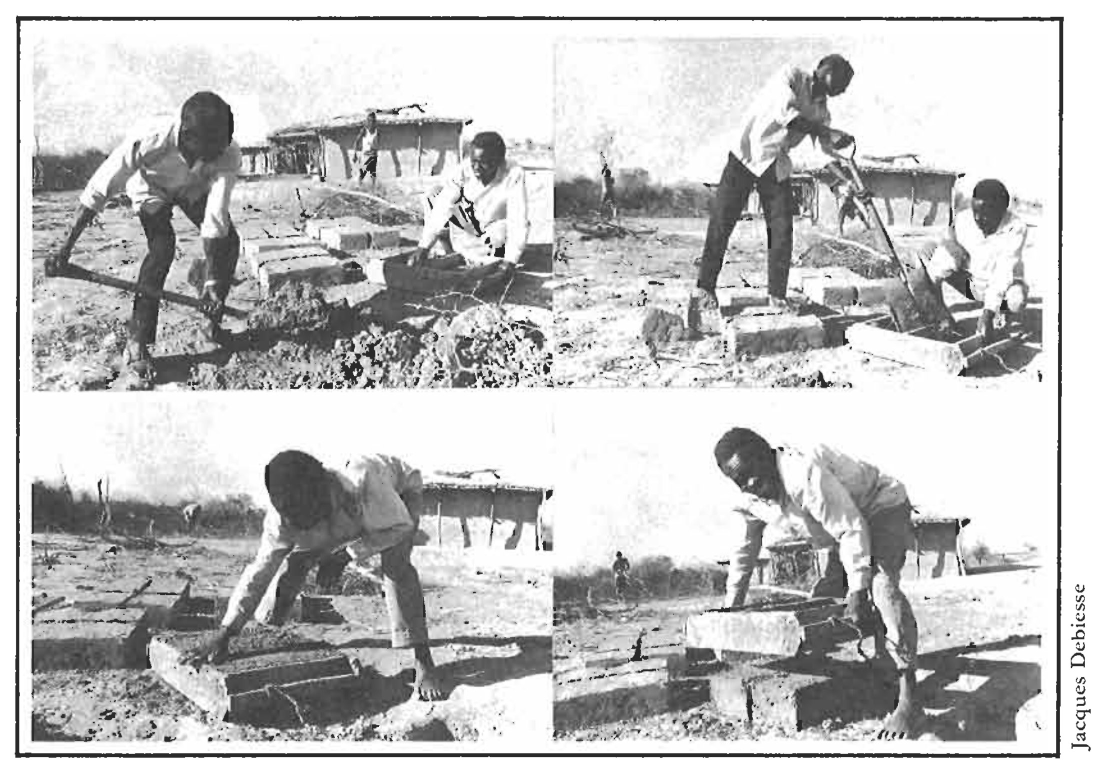
– Ne nécessite qu'un outillage facilement disponible.

Les principaux INCONVENIENTS de cette technique, par rapport aux autres modes de construction en terre, sont les suivants :

– Le séchage est très long dans les climats humides et froids.

– Les performances mécaniques du matériau et sa résistance aux intempéries sont médiocres.

Enfin, à la différence de l'adobe et du pisé, la bauge n'a fait l'objet d'aucune étude pour l'amélioration de ses qualités. Les techniques récentes de stabilisation et de mécanisation permettraient certainement de réduire considérablement les inconvénients de ce matériau.



Jacques Debiesse

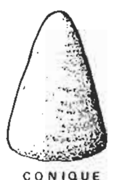
FIGURE 146 : TANZANIE

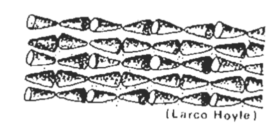
3. L'ADOBE

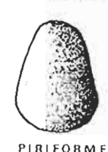
La technique de l'ADOBE consiste à mouler sans compactage des briques avec de la terre et à les laisser sécher au soleil. La brique d'adobe utilisée depuis des millénaires est certainement un des premiers matériaux de construction élaboré par l'homme. Le terme « ADOBE » vient de l'égyptien « Thobe » signifiant : brique ; il a donné naissance au mot arabe « Ottob » devenu « adobe » en espagnol, et « TOUB » en français. On le connaît aussi sous le nom de « brique de terre crue » et « Banco ». La brique d'adobe n'est pas nécessairement un parallélépipède. On en trouve de multiples formes, côniques, cylindriques, trapézoïdales etc. Ces formes particulières se situent historiquement entre le façonnage manuel de la terre sous forme de boules et l'apparition du moule rectangulaire. « Les premières briques de terre, qu'on essaya de former furent probablement des masses d'argile, grossièrement façonnées, sèchées à l'air et durcies par l'action du soleil ».

L'archéologue José Imbelloni propose l'évolution suivante : les briques auraient été tout d'abord côniques, puis cylindrocôniques en demi-sphère, dentiforme, et enfin en parallélépipède **(fig. 147)**. C'est par de nombreux tâtonnements que la forme de l'adobe évolua au cours des siècles.

FIGURE 147 : DIFFERENTES FORMES DE BRIQUES NON PARALLELEPIPEDIQUES

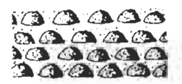


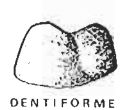


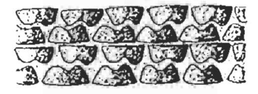


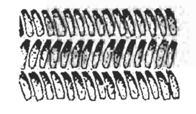














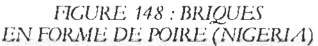
PLAN-CONVEXE

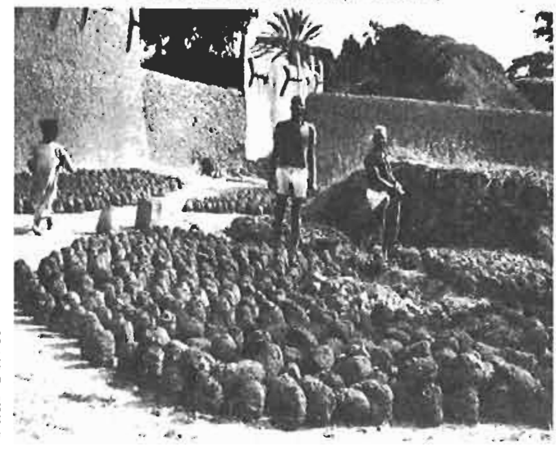
CRATerre

La forme cônique se rencontre par exemple au Pérou à l'époque cupisnique (1000 avant J.C.). La pyramide de Moxèque à huit niveaux et à base carrée de 165 × 170 m fut élevée avec ce type de briques.

Larco Hoyle décrit un appareillage possible : les briques sont disposées « pointe contre pointe » **(fig. 147)**.

La forme en poire, fréquente en Afrique occidentale, est utilisée dans la construction de l'habitat depuis plus de 5000 ans ; On la rencontre aujourd'hui au Togo, au Nord du Nigéria : Zaria **(fig. 148)**. Appelées « Tubali », les briques sont fabriquées sans moule avec un mélange de terre et de paille. Les murs ont une épaisseur de deux ou trois briques. Pour la première assise les tubalis sont posées sur la base la plus large, l'assise suivante est montée « tête-bêche » et ainsi de suite.


FIGURE 148 : BRIQUES EN FORME DE POIRE (NIGERIA)



Paul Oliver

I - FABRICATION DES BRIQUES D'ADOBE

Avant d'aborder les problèmes techniques de la fabrication de l'adobe, il est intéressant d'en voir l'historique dans des civilisations qui l'utilisent depuis des millénaires.

FABRICATION DES BRIQUES DANS L'ANTIQUITE

D'après un document extrait du « Dictionnaire de la Bible » de Vigouroux (1912), nous savons que le travail de l'adobe était plus rapide et plus facile que celui de la pierre. Il avait l'avantage d'utiliser une main d'œuvre à bon compte (captifs de guerre).

à Babylone

On avait la matière première sous la main, souvent à l'endroit même où on construisait ; on avait donc qu'à pétrir la terre et à ajouter une certaine quantité d'eau. L'on foulait aux pieds ce mélange dans de larges bassins sans profondeur. Pour donner plus de consistance à cette terre détrempée, on y ajoutait, pour les briques crues, de la paille hachée en petits morceaux. L'argile pétrie était façonnée dans des moules à peu près carrés, qui don-

naient de larges briques supérieures en dimension à la brique égyptienne. Elles avaient 20 à 40 cm de côté sur 5 à 10 cm d'épaisseur ; la dimension la plus commune est de 315 mm de côté.

La plupart était simplement exposée au soleil, et elles étaient rapidement séchées surtout pendant les mois d'été sous des chaleurs torrides. Le premier mois d'été, le mois de SIVAN, se nommait « le mois de la brique »

Quelquefois elles étaient à peine desséchées quand on les employait, de sorte qu'en se tassant elles finissaient par ne plus former qu'une seule masse compacte, où l'on ne reconnaît plus l'emploi de la brique qu'aux teintes diverses des différents lits superposés. La brique crue, bien desséchée au soleil d'un tel climat, acquiert une très grande solidité : cependant elle ne résiste pas à l'action prolongée de l'eau. Afin de la rendre plus résistante, on en faisait cuire une partie au feu dans des fours spéciaux. Et pour que la cuisson fut plus facile, que la brique fut complètement desséchée et durcie sans être calcinée, on lui donnait moins de dimension qu'à la brique crue. Sa couleur était différente : au lieu de la teinte blanchâtre ou jaune clair de la brique crue elle tendait plus ou moins vers le rouge sombre. L'une et l'autre étaient marquées au coin du prince régnant : sur l'un des plats des briques encore molles, on imprimait ses noms et titres d'une sorte de timbre...

Dans les constructions on employait les deux sortes de briques ; plus fréquemment à Babylone qu'à Ninive (fondations et revêtement des murs / terrain humide / pluies torrentielles).

Le peuple ne disposait que de la brique crue... Pour relier entre elles les briques, on se contentait souvent, en Assyrie, de l'humidité des parois de la brique crue, qui avec la charge qu'elle supportait produisait une adhérence suffisante.

Mais en Chaldée, on employait divers ciments : un simple mortier d'argile pour l'intérieur des maisons ou les murs peu soignés ou bien un ciment à la chaux très adhérent dans les grands édifices (à Birs-Nimroud) ou bien un mélange de cendre et de chaux (à Mughéir) où l'on continue à l'employer sous le nom de « Charour ». Pour une solidité à toute épreuve, on avait un ciment naturel et caractéristique de la Chaldée, le bitume. De plus, des lits de roseaux placés à intervalle régulier, servaient à maintenir plus de solidité et de cohésion entre les différentes couches de briques. On l'a constaté plus d'une fois dans les ruines et Hérodote l'avait remarqué à Babylone :

« A mesure, dit-il, qu'on creusait les fossés on en convertissait la terre en briques et, lorsqu'il y en eut une quantité suffisante, on les fit cuire dans les fourneaux. Ensuite pour mortier on employa le bitume chaud, et, de trente couches en trente couches de briques, on mit des lits de roseaux entrelacés ensemble ».

En Grèce

En Grèce les édifices publics ainsi que les bâtiments privés furent à différentes époques, bâtis de briques crues, qui représentaient « la marque de l'homme civilisé ». Dans l'architecture grecque, la terre joue un rôle important comme élément de construction et comme élément décoratif. Depuis l'époque de la Grèce antique la technique de l'adobe n'a guère changé (choix d'une bonne terre mouillée, mêlée de paille hachée puis foulée aux pieds). Pline affirmait que deux Athéniens (Euryalos et Hyperbios) étaient les inventeurs des briques et des constructions en terre. Les murailles des édifices militaires étaient construites en adobe et recouvertes d'un parement en pierres. Exemple : muraille de l'enceinte de Corinthe et celle du temple de Zeus et d'Héraclés à Patras. Vitruve cite également les remparts d'Athènes, le temple Crésus à Sardes etc. Il distingue trois types de briques :

La brique Lydienne rectangulaire dont les dimensions étaient soit 50 cm de long, 33 cm de large, 8 cm d'épaisseur – soit 45 cm de long, 26 cm de large, 10 cm d'épaisseur – soit 39 cm de long, 19 cm de large, 10 cm d'épaisseur.

La brique dite « Pentadoron » carrée utilisée dans les édifices publics : 45 × 45 × 8 cm.

La brique dite « Tétradoron » carrée et utilisée dans les bâtiments privés : 30 × 30 × 10 cm.

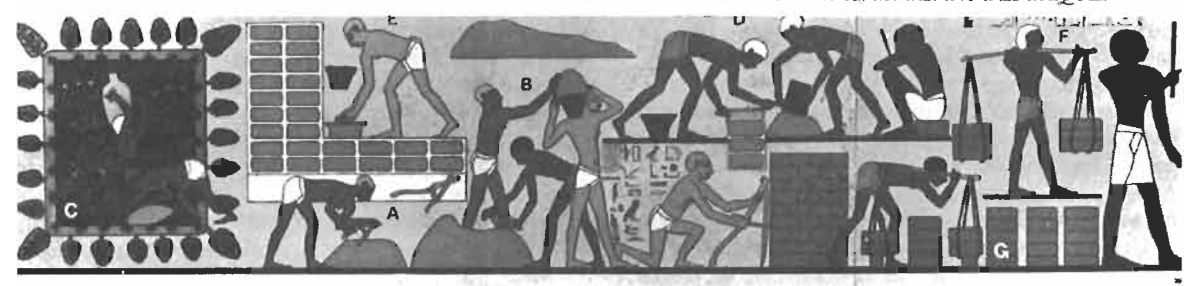
Chacun de ces modèles comporte un moule d'une 1/2 brique. La forme carrée, affectionnée par les Grecs a une épaisseur à peu près constante : 8 à 10 cm.

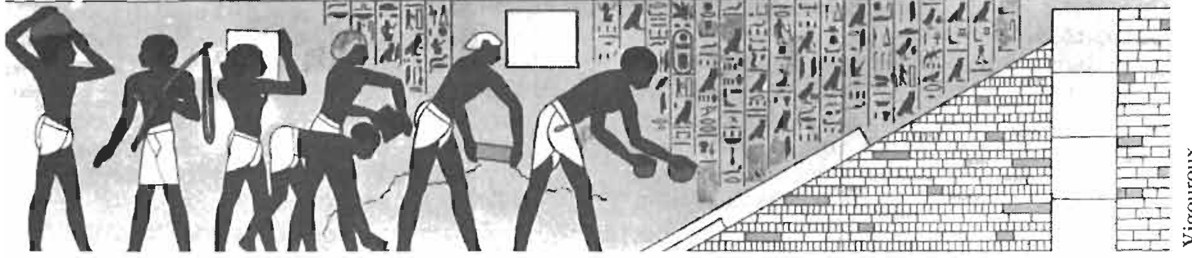
En Egypte

Des bas-reliefs égyptiens nous montrent que la brique crue étaient couramment employée. Nombre de scènes de la vie des Fellah ainsi que du Pharaon et de sa Cour sont représentées sur les murs des Tombeaux. Par exemple, le bas relief **(fig. 149)** où la reine Hatchepsout (1490-1469 av. J.C.) prépare une brique d'adobe, montre que le moule n'était alors guère différent de celui qu'on utilise aujourd'hui.

Sur le tombeau Rekmara à Gournah **(fig. 150)** une scène représente des captifs mou-

FIGURE 150 : SCENE SUR LE TOMBEAU DE REKMARA REPRESENTANT DES ESCLAVES MOULANT DES BRIQUES





Vigouroux

lant des briques pour construire le temple d'Ammon à Thèbes. En voici les différentes étapes :

A – Piocher
B – Emporter la terre
C – Puiser de l'eau pour la détremper
D – Mouler les briques
E – Les disposer en damier
F – Les transporter à l'aide d'une sorte de joug après une première dessication
G – Les placer les unes sur les autres en piles régulières et distantes de façon à laisser l'air circuler dans les intervalles pour les sécher. Construire avec des pierres et des briques le magasin du Temple d'Ammon.

Des étrangers, qui se distinguent facilement à leur barbe et à leur couleur, sont mêlés aux Egyptiens peints en rouge ; on leur a réservé la partie la plus dure du travail : des chefs de corvée armés de bâtons, surveillent les uns et les autres.

La Bible (Exode) nous renseigne sur l'utilisation de la paille dans la fabrication des briques :

« Le roi Pharaon dit :**« vous ne donnerez plus, comme auparavant, de paille à ce peuple, pour faire leurs briques ; mais qu'ils aillent la chercher eux-mêmes.**
Et vous ne lasserez pas d'exiger d'eux la même quantité de briques qu'ils fabriquaient auparavant, sans en rien diminuer, car ils n'ont pas de quoi s'occuper, ils se disent l'un à l'autre : allons sacrifier à notre Dieu ».
L'intendant dit alors aux Hébreux que, par ordre du Pharaon il ne leur donnera plus de paille.
« Allez, cherchez-en où vous pourrez en trouver, et néanmoins on ne diminuera rien à vos ouvrages.
Et le peuple se répandit dans toute l'Egypte, afin d'amasser de la paille. »

On pourrait multiplier les citations : Samuel 12-31 ; Judith 5-11 ; Esaïe 9-9 ; Ezechiel 4-1 ; Nahoum 3-14...).

Mais la paille n'est pas toujours employée : les murs de Pithom sont bâtis en larges briques crues (44 × 24 × 12 cm) comportant les unes de la paille ou des fragments de roseaux les autres uniquement du limon.

FIGURE 149 : LA REINE HATCHEPSOUT (1490/1469 AV. J.C.) MOULANT UNE BRIQUE D'ADOBE



Hassan Fathy

Au cours d'un voyage à Louxor en 1978, nous avons observé que les ouvriers travaillaient la brique crue exactement de la même manière que le montrent les fresques des

temps pharaoniques. (Vigouroux a fait la même remarque dans une lettre de Samanoud datée du 18 mars 1894).

Une semaine avant la fabrication, la terre est labourée et innondée. On y répand de la paille hachée et on la fait pénétrer dans la masse, en piétinant le sol. Elle s'imbibe d'eau et soulève la terre.

Un ouvrier apporte de l'eau pour pétrir ce mélange débarrassé de mottes et en faire une pâte molle. On dépose une certaine quantité de cette boue sur des couffes rectangulaires tressées avec des feuilles de palmier, et recouverte de paille hachée. Chaque porteur en a deux, une dans chaque main. Il suffit de lacher une poignée pour que toute la charge de terre tombe toute entière sans qu'il reste rien dans la couffe.

Le moule de forme rectangulaire est placé sur une aire bien unie. Il se compose de 4 planchettes de bois dur dont une se prolonge en manche.

L'ouvrier prend une boule de pâte mouillée et, après l'avoir enroulé dans la paille, la façonne avec la main et la plaque dans le moule (moulage « au ballon »). Après avoir égalisé la surface, il soulève le moule, laissant sur place la brique qu'il vient de fabriquer. Il en fait une autre à côté disposant le tout en damier. Les briques sèchent au soleil et sont utilisées telles quelles. Si on veut les rendre plus résistantes, on les cuit au four. Un mouleur expérimenté fabrique 10 briques en 2 minutes, et actuellement en Egypte 1000 briques de ce type valent 23 FF. (1978).

FIGURE 153 : VUE D'ENSEMBLE D'UN CHANTIER DE FABRICATION EN FACE DE LOUXOR - ▼ L'EAU DU NIL EST AMENEE PAR UN CANAL D'IRRIGATION. ON VOIT L'AIRE DE PREPARATION DE LA TERRE, DU MOULAGE, DU SECHAGE ET DU STOCKAGE DES BRIQUES



CRATerre



CRATerre

▲ FIGURE 156 : LA BOULE EST MOUILLEE AVANT D'ETRE JETEE DANS LE MOULE

FIGURE 154 : LA TERRE EST TRANSPORTEE A L'AIDE DE COUFFES RECTANGULAIRES TRESSEES AVEC DES FEUILLES DE PALMIER ▼

▼ FIGURE 157 : LA TERRE EST EGALISEE A LA MAIN



CRATerre



CRATerre

FIGURE 155 : LA TERRE EST PETRIE EN FORME DE BOULE ▼

FIGURE 158 : LE MOULE EST RETIRE ET ON RECOMMENCE UNE NOUVELLE BRIQUE ▼



CRATerre



CRATerre

LE CHOIX DE LA TERRE

Il est plus aisé d'exploiter une carrière dont le sol ne comporte ni grosses pierres ni racines ni terre végétale. Les sols constitués de sable, de limon et d'argile sont les plus aptes à la fabrication de l'adobe : en voici les proportions :
Sable : 55 à 75 %
Limon : 10 à 28 %
Argile : 15 à 18 %
Matières organiques inférieures à 3 %

Si l'on stabilise la terre avec du bitume la teneur en sels alcalins ne dépassera pas 0,2 % les briques se déliteraient à long terme (cf. stabilisation, réf. 51).

Plusieurs cas peuvent se présenter :

Il y a trop d'argile : des fissures se produiront dans les briques lors du séchage. En effet, son instabilité volumique en présence d'eau explique le phénomène et concourt à rendre les briques peu résistantes à l'érosion.

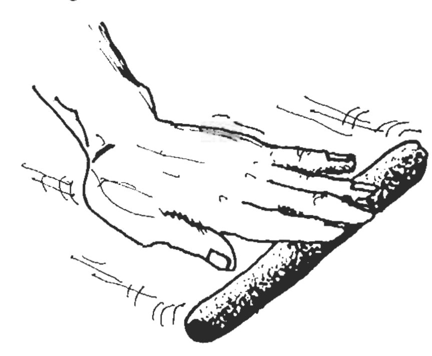
Il y a trop de sable : les grains trop nombreux ne pourront être tous suffisamment liés. La cohésion de l'ensemble sera trop faible et les briques se désagrégeront.

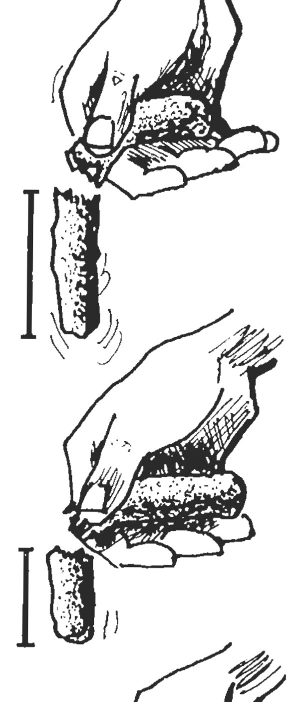
Il y a trop de matières organiques : l'effet de leur décomposition se traduit par une instabilité des caractères du matériau dans le temps, une porosité et une mauvaise durabilité en présence d'eau. Ces proportions peuvent être établies en laboratoire ou évaluées sur le terrain par des méthodes simples.

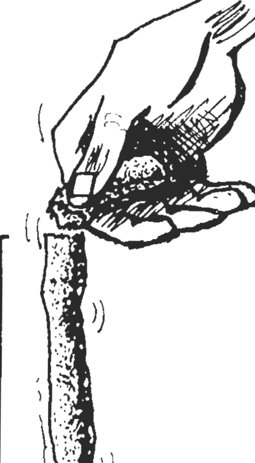
Un test rapide permet de vérifier si la terre convient à la fabrication de l'adobe **(fig. 160)**. Il consiste à rouler avec la paume de la main un « boudin » de terre plastique (il ne doit pas coller à la main). On l'applatit avec précaution entre les doigts pour obtenir le « ruban » le plus long possible dont on mesure la longueur au moment de sa rupture.
- S'il se rompt entre 5 et 15 cm : la terre est correcte pour l'adobe.
- S'il se rompt avant 5 cm : il faut ajouter de l'argile.
- S'il se rompt après 15 cm : il faut ajouter du sable.

Nous présentons les différentes phases de fabrication des briques d'adobe ainsi que la façon dont les problèmes ont été résolus dans un cadre de production artisanale ou semi-industrialisée (utilisation de machines à mouler de type « Adobe-master »).

FIGURE 160 : TEST POUR VERIFIER L'APTITUDE DE LA TERRE A LA FABRICATION DE L'ADOBE







Oficina Nacional de Desarrollo Comunal - Pérou

Extraction

La terre appropriée à la fabrication de l'adobe peut être issue d'une ou de plusieurs carrières mélangées. Celles-ci se situeront le plus près possible du lieu de la construction. On devra évaluer la capacité, la profondeur et l'homogénéité de la carrière choisie.

La couche de terre végétale est mise de côté pour son éventuelle réutilisation. L'extraction se fait manuellement à la pioche, à la houe etc. ou à l'aide de pelles mécaniques (pelles rétro etc.).

Le volume de terre foisonnée est de 30 % supérieur au volume des briques.

Tamisage

Les tamis auront des mailles d'un diamètre de 6 à 12 mm, les plus fins étant destinés aux briques stabilisées. Le tamisage se fait en général dans la zone même de l'extraction (mettre la brouette directement sous le tamis afin d'éviter un remaniement supplémentaire).

Un homme peut tamiser 4 m^3 de terre par jour.

Préparation de la terre

L'hydratation préalable traditionnelle, qu'on appelle communément «pourrissage» a pour but de saturer d'eau les particules argileuses et de détruire toutes les petites « mottes » de terre. Pour fabriquer les adobes on laisse reposer le sol détrempé pendant 24 h, ce qui facilite le mélange, améliore la qualité des briques et diminue les fissures de retrait.

Sur une surface plane près du lieu de fabrication des briques, on forme un tas de terre puis on y creuse un « cratère » que l'on remplit d'eau. On essaye d'obtenir un mélange plastique et homogène.

On peut également le fouler directement aux pieds dans une fosse. Les malaxeurs facilitent ce travail, assez fatigant.

La quantité d'eau nécessaire est assez importante et la proximité d'un point d'eau est un critère de choix de l'aire de fabrication des briques. Etant donné qu'il faut 1/3 d'eau dans le mélange, une production journalière de 500 briques de 30 × 15 × 10 cm (4 personnes) demande 650 litres d'eau.

Stabilisation

On ajoute souvent au mélange, des fibres végétales ou animales. Au Pérou on utilise


Luc Bazin

FIGURE 161 : LE TOIT EST EN CHAUME D'ICHU SERVANT EGALEMENT A FABRIQUER L'ADOBE (PEROU)

une graminée qui pousse sur les hauts-plateaux (ichu-Fesuca). **A Trinidad,** on utilise un végétal à fibre durable et résistante (Sporobulus Indicus) coupé en morceaux, **en Afrique** la balle de mil. **En Iran,** de la balle de riz, des petites feuilles de palmier ainsi que des poils de chèvre et de chameau servent de liant. **Au Mexique,** ce sont des aiguilles de pins. Les fibres représentent 20 à 30 % du volume des briques (30 g par brique de 23 × 11 × 7 cm). On mélange d'abord l'eau à la terre, puis on ajoute les fibres.

En Australie, Middelton indique qu'il faut de 56 à 67 kg de paille pour fabriquer 1000 briques de 45 × 30 × 10 cm (4 à 5 Kg/m_3 de briques).

En Egypte, pour la construction du village de Gourna, Hassan Fathy employa 20 kg de paille pour 660 briques de 23 × 17 × 7 cm correspondant à 1m_3 de briques.

D'habitude, on mélange les fibres végétales à la boue et on les laisse macérer assez longtemps afin que se décomposent les matériaux non-fibreux.


CRATerre

FIGURE 162 : LE KHAN (QUARTIER DES ARTISANS) DANS LE NOUVEAU VILLAGE DE GOURNA (EGYPTE)

Aux U.S.A., des recherches ont été effectuées pour déterminer le degré de décomposition des fibres dans les briques d'adobe. On a trouvé des briques de plus de cent ans contenant des fibres sèches intactes, dont on a même pu reconnaître l'espèce.

En dehors des fibres on peut utiliser les stabilisants conventionnels : ciment, chaux, bitume. Ce dernier a été l'objet de recherches plus particulières pour l'adobe (cf. chapitre « Stabilisation »).
Le succès de la stabilisation dépend d'un bon malaxage. Les stabilisants en poudre sont mélangés au sol sec, quant aux émulsions de bitume on les incorpore à la terre déjà mouillée.

Méthode de malaxage manuelle du bitume.

1 – Mesurer un volume de terre sèche : ex. 50 brouettes.
2 – Humidifier et laisser reposer 24 h.
3 – Prendre 4 brouettes de terre et y ajouter de l'eau puis malaxer jusqu'à l'obtention d'une pâte.
4 – Verser tout le bitume en émulsion dans cette pâte, bien le mélanger.
5 – Mêler le tout au reste de la terre, et malaxer énergiquement.

Un bon mélange se voit à sa couleur uniforme. Lorsqu'on emploie des fibres végétales, on les ajoute après le mélange du bitume ; sinon ce dernier est absorbé par les fibres.

Les moules – Le moulage et démoulage

Les moules sont généralement en bois, ils peuvent être également en métal **(fig. 163)**. Ils doivent être renforcés aux angles par des équerres métalliques ou tout autre système. Une surface interne très lisse, en formica par exemple, évite l'adhérence de la terre et donne un bel aspect aux briques, tout en facilitant le nettoyage.

Les dimensions des briques sont très variables, et dépendent surtout des habitudes locales. De petite taille, les moules sont faciles à manipuler d'une seule main, mais la mise en œuvre des briques sera plus longue et demandera plus de mortier. Au contraire les grandes briques rendront les murs plus solides et plus faciles à monter, mais elles sont plus longues à sécher, lourdes, et risquent de se fissurer. Toute seule, une personne ne peut manipuler un moule de plus de 80 cm de long. Il existe de nombreux modèles permettant de mouler plusieurs briques à la fois, en particulier dans les entreprises industrielles du Nouveau-Mexique (U.S.A.) dont les moules comptent jusqu'à 50 compartiments, ce qui augmente considérablement les taux de production.

Les briques sont carrées ou rectangulaires. De la même largeur que le mur, ces dernières sont plus faciles à mettre en œuvre, à condition d'avoir prévu de mouler également des demi-briques pour décaler les joints. Les briques rectangulaires demandent des appareillages plus complexes, et leurs dimensions doivent respecter le rapport suivant : longueur = (2 × largeur) + épaisseur du joint.

Moulage

L'opération peut s'effectuer de deux façons :
– **Manuellement :** la terre a une consistance plastique et le moulage se fait par pétrissage.
– **Mécaniquement :** la terre est liquide et le moulage se fait par coulage.

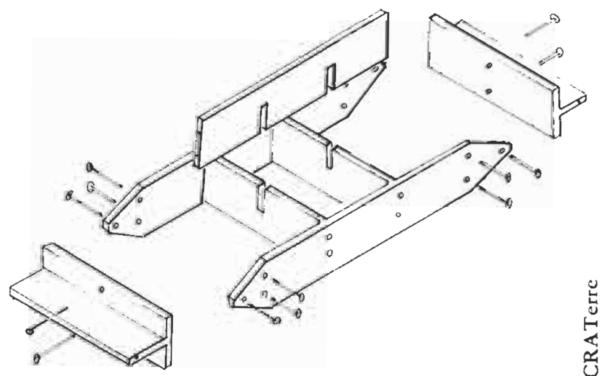
Dans le cas d'un moulage manuel, pour vérifier si la teneur en eau est correcte, il existe un moyen assez simple, qui consiste à tracer un sillon en « V » de 8 cm de profondeur dans le mélange, à l'aide d'un baton taillé en coin. Celui-ci doit laisser une trace nette. Les parois du sillon se gonflent et tendent l'une vers l'autre sans se toucher **(fig. 166)**.

a) **Moulage « à la balle » : méthode dite à « coup d'eau » (Golpe de agua).**

Dans un moule disposé sur le sol, on jette un ou plusieurs paquets de terre en com-

FIGURE 163 :

1 - MOULE EN BOIS POUR SIX BRIQUES DE 14 × 29 × 9 cm



2 - MOULE EN TOLE POUR TROIS BLOCS DE 19 × 39 × 9 cm

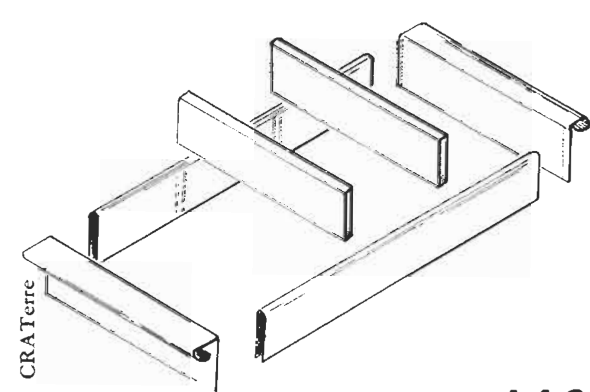
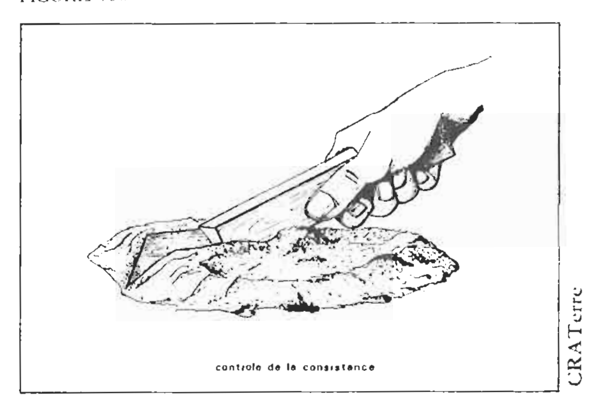


FIGURE 166



CRATerre

mençant par les angles. On presse la terre avec les mains pour en chasser l'air, et on égalise la surface en éliminant l'excès de boue. D'un mouvement sec on soulève verticalement le moule. L'effet de compactage réalisé en jettant les balles dans le moule a créé un film d'eau lubrifiant entre le moule et la terre et a facilité le démoulage.

Les briques restent en place, sur une aire qu'on aura pris soin de recouvrir de sable, de paille ou de papier. Après chaque brique, le moule est gratté et lavé à grande eau. Pour maintenir une surface lisse. Le moule doit rester constamment humide. L'utilisation d'un moule sans fond donne un meilleur rendement, mais laisse des bavures sur les côtés de la brique.

INVENTAIRE DES MOULES A BRIQUES D'ADOBE (FIGURES 165)

N°	MOULE	PAYS	L x l x h (cm)	SOURCE
1	A	Mexique	40 x 30 x 8	Sociedad de Arquitectos Mexicanos
2	A	Mexique	40 x 20 x 8	
3	B	U.S.A.	48 x 19 x 11	Making the adobe brick
4	C	Pérou	50 x 24 x 16	Construyendo con adobe
5	C	Pérou	40 x 19 x 12	
6	D-E	Australie	61 x 30 x 15	Earth Wall Construction
7		"	46 x 30 x 13	
8		"	46 x 23 x 13	
9		"	46 x 30 x 10	
10		"	46 x 23 x 10	
11		"	41 x 20 x 10	
12	F	Egypte	44 x 24 x 12	Naissance de l'urbanisme dans la vallée
13		"	38 x 18 x 14	du Nil, et Dictionnaire de la Bible
14		"	22 x 14 x 11	
15	G	Tunisie	20 x 10 x 5	Cahier des Arts et Techniques
16		"	20 x 10 x 4	d'Afrique du Nord
17		"	20 x 10 x 3	
18	H	France	40 x 30 x 55	Région de Toulouse Diplôme d'Architecture
19		"	40 x 15 x 5	de N.Sarrazin
20		"	30 x 14 x 8	
21		"	35 x 27 x 5	
22	I	U.S.A.	53 x 25 x 9	Adobe News n° 14
23	J	"		The Manufacture of Asphalt Emulsion stabilized soil Bricks
24	K	"		Adobe News n° 10
25	L	"		Adobe Built it yourself
26	M-N	Allemagne	38 x 25 x 12	Der lehmbau, sein praktische
27		"	25 x 12 x 12	« Anwendung »
28		"	25 x 12 x 6,5	
29	O	"	40 x 14 x 9	Manuel de construction rurale
30	P	Egypte	22 x 14 x 11	Manuel de construction rurale
31		"	38 x 18 x 14	
32	Q-R	Pérou	38 x 38 x 8	Mejores viviendas de adobe
33	S-T	"	28 x 28 x 8	COBE

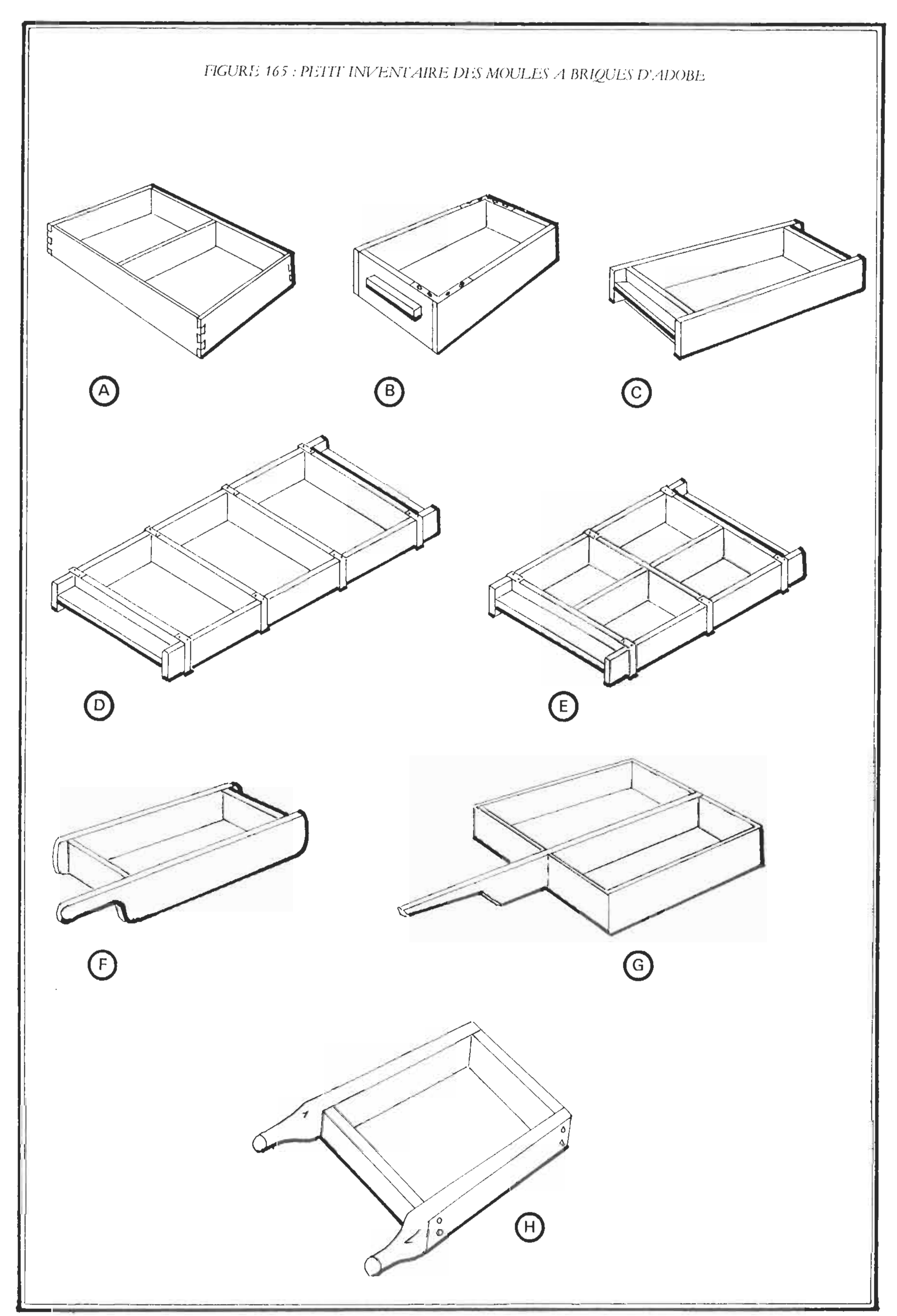
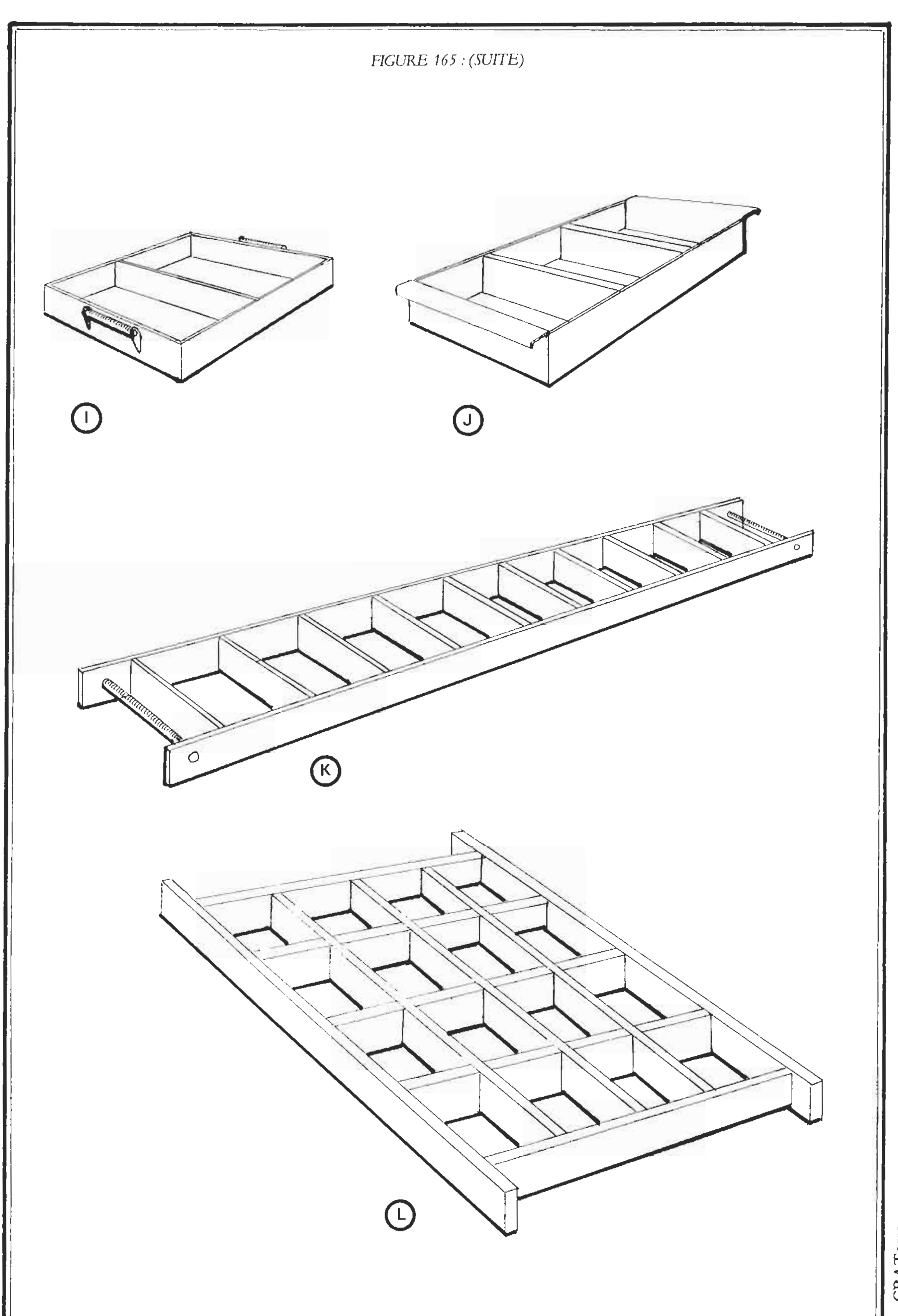


FIGURE 165 : PETIT INVENTAIRE DES MOULES A BRIQUES D'ADOBE

CRATerre



CRATerre

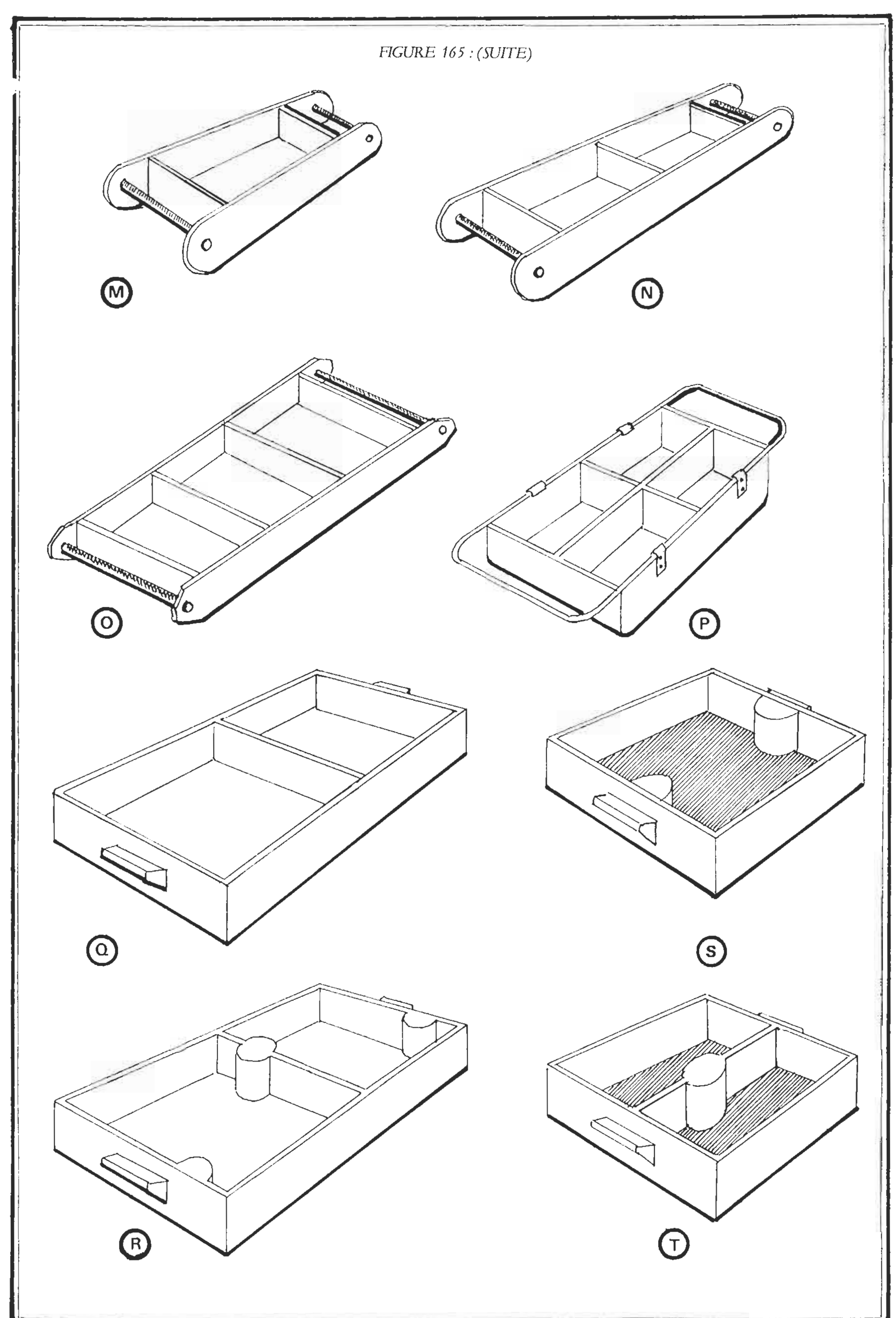


FIGURE 165 : (SUITE)

En R.D.A. les briques sont moulées sur une table **(fig. 167)**. On utilise de petits moules sans fond. Une fois remplis, on les

FIGURE 167 : MOULAGE « A LA BALLE » SUR TABLE (ALLEMAGNE DE L'EST)



Pollack, Richter

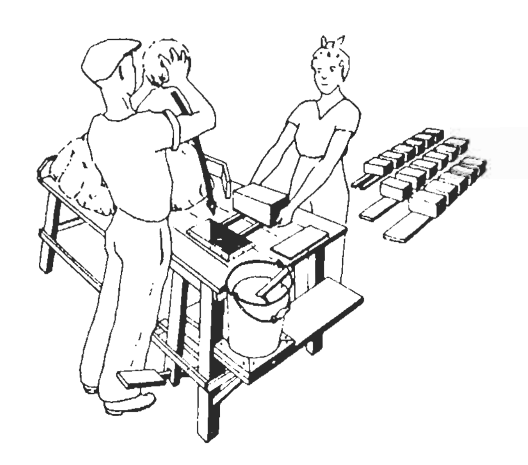
met sur chant et on les transporte ainsi jusqu'à l'aire de séchage où on les démoule (réf. 23).

b) **Utilisation d'un moule avec fond : méthode dite « à coup de sable » (Golpe de arena).**

Dans ce cas le moule est humidifié puis saupoudré de sable afin de permettre un meilleur démoulage des briques. On prend une masse de terre d'un volume suffisant pour remplir le moule en une fois. On la plaque à l'intérieur du moule, on racle l'excédent. On démoule d'une secousse. Le démoulage est facilité par des trous dans le fond, des rainures, ou un fond amovible. Les briques produites dans ces moules à fond sont régulières et plus résistantes. Les briques sèchent plus vite, leur teneur en eau de moulage étant inférieure à celle du moulage à « coup d'eau ».

En R.D.A. on a inventé une table de moulage équipée d'un système d'éjection de la brique **(fig. 168)**. On pose une planchette au fond du moule, encastrée dans la table, puis on jette la terre à l'intérieur, on la tasse et l'égalise. La brique est alors éjectée mécaniquement à l'aide d'une pédale reliée au fond mobile du moule. La planchette permet le transport de la brique sur l'aire de séchage.

FIGURE 168 : TABLE DE MOULAGE UTILISEE EN ALLEMAGNE UN LEVIER A PEDALE PERMET LE DEMOULAGE



Pollack, Richter

Séchage et stockage

(fig. 169)

Après démoulage laisser sécher les briques 3 jours minimum sur une aire de stockage propre, nivelée et recouverte de sable fin et susceptible de contenir la production de 4 jours. Retourner les briques sur chant au bout de 3 à 5 jours, afin d'accélerer le séchage. Pour éviter les fissures, les laisser à l'ombre les deux premiers jours (période de retrait de la brique). Les protéger de la pluie (les quatre premiers jours suffisent pour l'adobe stabilisée).

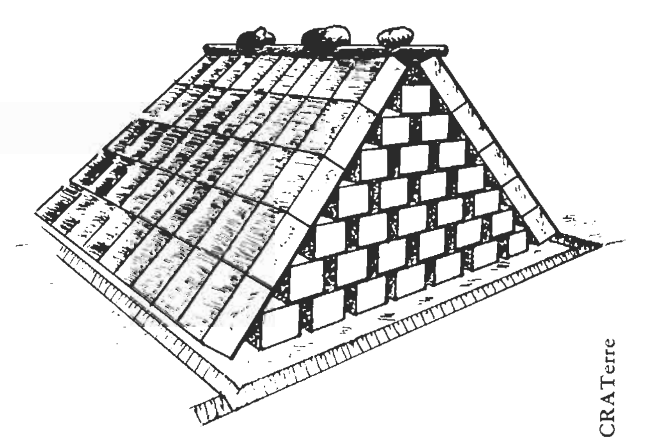
Prévoir 3 semaines à 1 mois de temps de séchage. Le pourcentage de perte ne dépasse pas habituellement 5 %. En cas de perte trop importante, laisser reposer la terre plus longtemps ou vérifier si l'aire de séchage ne contient pas de sels (augmenter éventuellement la couche de sable).

FIGURE 169 : FABRICATION D'ADOBE AU MAROC



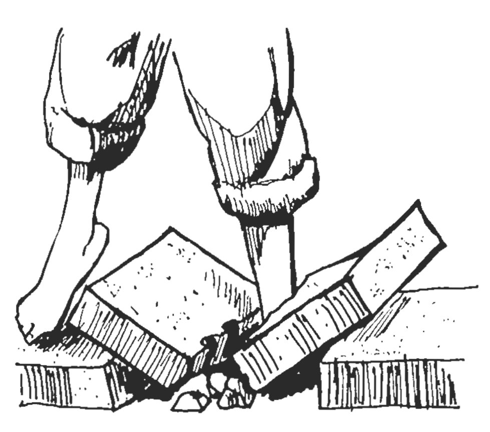
Françoise du Boisberranger

FIGURE 170 : STOCKAGE DE BRIQUES AVEC DRAINAGE (ALLEMAGNE DE L'EST)



CRATerre

Oficina Nacional de Desarrollo Comunal - Pérou



30 cm

FIGURE 171 : ESSAI DE RESISTANCE. UNE FOIS SECS, LES BLOCS DOIVENT POUVOIR SUPPORTER LE POIDS D'UN HOMME PENDANT UNE MINUTE

Moulage mécanique

Il existe des machines permettant le moulage automatisé de briques d'adobe. Ce type d'outil a été mis au point au U.S.A. Il s'agit d'appareils comprenant un grand moule qui peut atteindre une capacité de 50 briques en un moulage. Sur le moule se trouve une trémie mobile qui, chargée de boue directement par camion « bétonneur », remplit toutes les alvéoles du moule en écoulant la terre. Les plus grandes machines sont capables de produire 2250 briques à l'heure. Un moule automatique plus léger, « Adobe master » **(fig. 172)**, produit 1200 briques par heure.



Adobe News

FIGURE 172 : MACHINE A MOULER « ADOBE MASTER ». PERMET AUX FABRICANTS DE BRIQUE DE TRAVAILLER SUR LE LIEU DE CONSTRUCTION ET D'EVITER LE COUT DU TRANSPORT - PRODUCTION : 767 BRIQUES DE 35 x 25,5 x 10 cm A L'HEURE OU 1259 BRIQUES DE 35,3 x 10 x 10 cm A L'HEURE (NOUVEAU MEXIQUE).



Adobe News

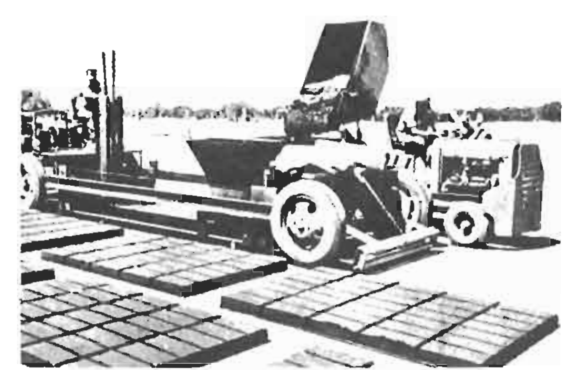
FIGURE 173 : FABRICANT D'ADOBE AU NOUVEAU-MEXIQUE (U.S.A.).

Production à grande échelle

(fig. 174)

Des usines produisant jusqu'à 18000 adobes par jours se trouvent aux U.S.A. (Californie, Nouveau-Mexique). Ce type de production exige un investissement initial important et des aires de séchage assez considérables. Il faut aussi disposer de zones de stockage capables d'absorber la production

FIGURE 174 : MACHINE A MOULER DE LA « HANS SUMPF COMPANY » A FRESNO (CALIFORNIE)



International Institute of Housing Technology - California

de plusieurs mois. La terre est extraite, tamisée et concassée mécaniquement. Un convoyeur à bande l'amène dans des trémies de stockage. La préparation de la pâte se fait dans un malaxeur horizontal qui apporte l'eau et le bitume. Le mélange est amené à la machine à mouler dans de petits « dumpers ». Cette machine est montée sur pneus et autopropulsée.

Le nombre de briques moulées en une fois dépend de leurs dimensions, les grilles d'alvéoles étant interchangeables. Lors de son

avancement une bande de papier se déroule sous elle automatiquement sur le sol, elle évite aux briques d'adhérer au sol et facilite le nettoyage après séchage. Le moule s'abaisse sur le sol à chaque étape et il se remplit automatiquement grâce à sa trémie. Il est ensuite relevé, et nettoyé par une pulvérisation d'eau. A chaque étape de la progression de l'engin le processus se répète.

Après un à deux jours de cure, les briques sont retournées sur le côté pour le séchage complet de 30 jours. Une fabrication de ce type produit plus d'un million de briques par an.

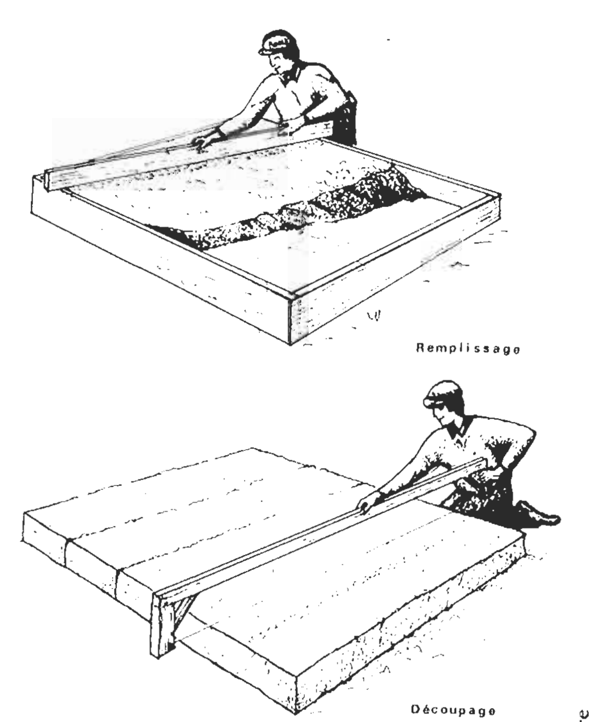
Autres méthodes

Un procédé manuel d'adobe découpée et un autre mécanique d'adobe filée ont été imaginés pour augmenter la production.

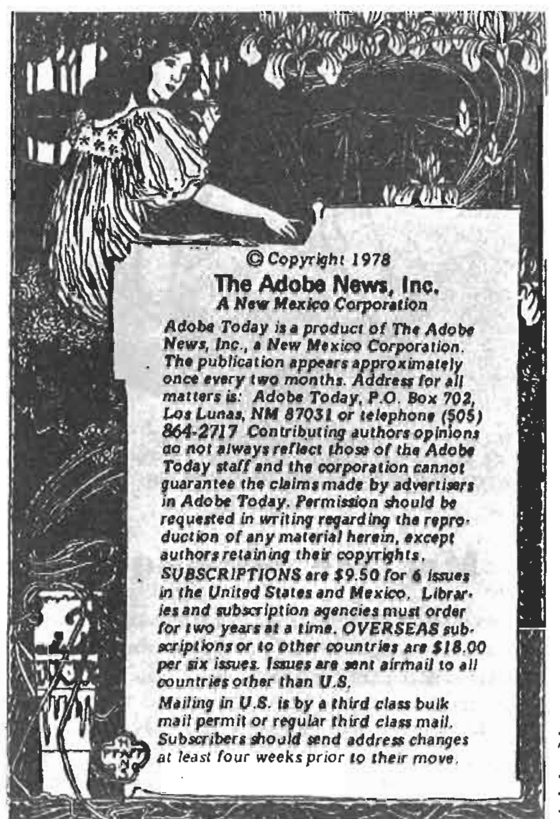
a) L'adobe découpée

Le principe consiste à couler la terre dans un cadre à la même épaisseur que celle des briques et dont les dimensions des côtés sont multiples de la largeur et de la longueur des briques désirées. Une fois le moule rempli et la terre égalisée en surface, on découpe cette « dalle » de terre avec un couteau. Une expérience a été faite par un amateur en Arizona : **(fig. 176)**. Une fois la terre malaxée, elle est versée dans un grand cadre carré posé sur un contreplaqué (2,50 m x 2,50). 2 à 3 heures après coulage, le cadre est enlevé et à l'aide d'un fil d'acier tendu sur une armature (arc) on découpe les briques. Il n'est pas nécessaire de les couper à fond, car au cours du retrait elles se séparent d'elles-mêmes. On obtient 70 briques de (35 x 25 x 10 cm). Deux personnes peuvent ainsi produire de 300 à 400 adobes par jour.

FIGURE 176 : ADOBE DECOUPEE



CRATerre


© Copyright 1978
The Adobe News, Inc.
A New Mexico Corporation

Adobe Today is a product of The Adobe News, Inc., a New Mexico Corporation. The publication appears approximately once every two months. Address for all matters is: Adobe Today, P.O. Box 702, Los Lunas, NM 87031 or telephone (505) 864-2717 Contributing authors opinions do not always reflect those of the Adobe Today staff and the corporation cannot guarantee the claims made by advertisers in Adobe Today. Permission should be requested in writing regarding the reproduction of any material herein, except authors retaining their copyrights.

SUBSCRIPTIONS are $9.50 for 6 issues in the United States and Mexico. Libraries and subscription agencies must order for two years at a time. OVERSEAS subscriptions or to other countries are $18.00 per six issues. Issues are sent airmail to all countries other than U.S.

Mailing in U.S. is by a third class bulk mail permit or regular third class mail. Subscribers should send address changes at least four weeks prior to their move.

Adobe News

FIGURE 175 : « ADOBE NEWS », PUBLICATION MENSUELLE SPECIALISEE DANS LA CONSTRUCTION EN ADOBE ET LES MAISONS SOLAIRES (U.S.A.). EN 1979 EST DEVENU « ADOBE TODAY ».

b) L'adobe « filée »

Avec quelques modifications on peut utiliser du matériel ordinaire de briquetterie pour fabriquer des briques d'adobe. On fait filer par une étireuse à vide une terre malaxée. Elle en sort sous forme d'une « barre » de section rectangulaire de largeur et d'épaisseur correspondantes aux dimensions des briques que l'on veut produire. Grâce à un dispositif spécial, la « barre » est découpée en longueur appropriées. Ce procédé a été utilisé en Inde (Delhi) pour fabriquer des briques stabilisées en bitume.

Elévation des murs

La construction en briques crues obéit à quelques lois générales, déterminées par l'expérience, qu'il est bon de connaître, tant au niveau de la conception que pour la mise en œuvre. Ainsi, la longueur maximum d'un mur entre deux angles ne dépasse pas 6 m, les murs plus longs devant être renforcés par des murs de refend, une armature ou des contreforts tous les 5 m. Les ouvertures n'excèdent pas un tiers de la surface totale du mur. Leur portée est limitée à 1,2 m, et on évite de les placer à moins d'un mètre d'un angle pour ne pas affaiblir ce dernier. Enfin, en règle générale, les portions de mur comprises entre deux angles ont les proportions suivantes : l'épaisseur étant de 1, la hauteur est de 8 et la longueur de 12.

Les mortiers

Pour les joints entre les briques on utilise un mortier de la même composition ou légèrement plus résistant que les adobes. Il ne comporte cependant pas de gravier (tamisage à 3 mm) ni de paille.

Nous présentons **(fig. 178)** les mortiers les plus courants. Les mortiers à la chaux ne sont pas recommandés pour les briques stabilisées au bitume (réf. 6). Les joints ont une épaisseur variant entre 1,5 et 2,5 cm. Trop épais ils affaiblissent la résistance du mur. Le tassement des joints sous la charge provoque un retrait vertical du mur en raison de 3 cm pour 3 m ; il faut en tenir compte pour la mise en place des cadres des portes et des fenêtres. Les murs non stabilisés sont souvent enduits ; dans ce cas les joints du mur sont creusés pour servir de base d'accrochage à l'enduit. Les briques stabilisées n'ont pas besoin de protection extérieure et leurs joints sont creusées comme éléments de décoration.

La quantité de mortier est fonction de la dimension des briques. Pour des adobes de 40 × 19 × 10 cm on utilise un volume de mortier égal au 1/5 de celui du mur. Cette formule tient compte du volume de mortier utilisé dans les joints et des pertes à la mise en œuvre.

Appareillages des briques

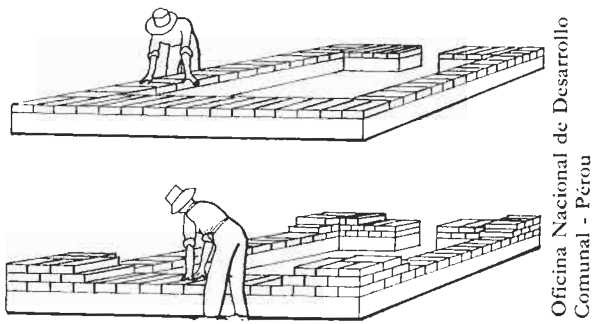
Les briques sont posées par assises continues de telle manière que la construction avance régulièrement sur toute sa surface

FIGURE 178 : DIFFERENTS MORTIERS

MORTIERS	PROPORTIONS DU MELANGE SUR LE CHANTIER (1 brouette = 60 litres = 17 pelles)	REMARQUES
sable chaux 300 kg par m³	+ CHAUX 40 kg	maçonnerie classique
terre bitume (cut back) 2%	+ 1l 0,6	résistance suffisante mais adhérence médiocre
terre ciment 225 kg par m³ bitume (cut back) 1%	3/4 + CIMENT 50 kg + 1l 1l 0,8	
sable ciment 400 kg par m³ bitume (émulsion) 3,3%	+ CIMENT 50 kg + 5l 1l 0,8	

(fig. 179). Les efforts sont ainsi répartis sur toute la longueur de la fondation. Pour éviter le tassement des joints frais, la hauteur maximale de la construction ne doit pas dépasser un mètre par jour.

FIGURE 179 : LE MUR DOIT ETRE MONTE UNIFORMEMENT SUR TOUTE LA LONGUEUR



Oficina Nacional de Desarrollo Comunal - Pérou

Tous les appareillages classiques de briques sont utilisables pour les adobes. Comme pour les briques cuites il faut respecter deux règles principales : éviter la superposition de deux joints verticaux (coup de sabre) ; lier solidement les briques aux angles. Il existe des appareillages spéciaux pour les grandes briques, et les briques carrés **(fig. 180-181-182).**

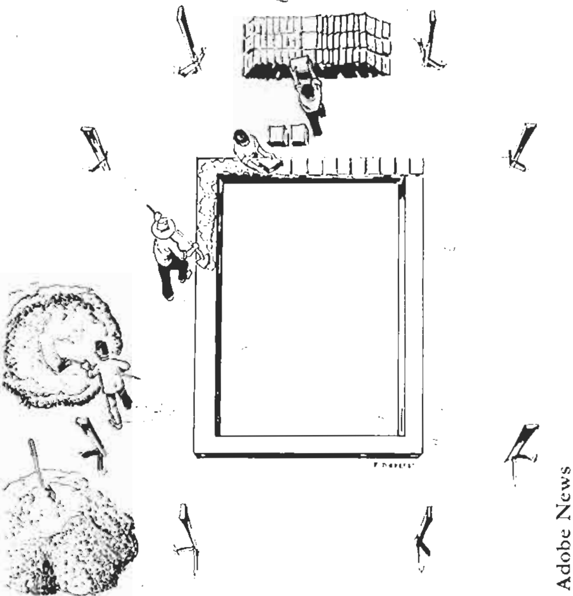
Lorsqu'on emploie un mortier au ciment, il est important d'arroser la surface des briques avant de les poser pour les empêcher d'absorber l'eau nécessaire à l'hydratation du ciment. Par contre, les briques stabilisées au bitume n'absorbant pratiquement pas d'eau, il est inutile de les mouiller.

Il faut environ 4000 adobes (120 tonnes) pour les murs d'une maison de 150 m². Un homme pose, par jour, de 2,4m³ à 2,8 m³ de briques de 40 × 19 × 10 cm. Ce qui représente, pour des murs de 20 cm : 15 à 17 m² et pour des murs de 40 cm 8 à 9 m² par jour. Pour une équipe de 3 personnes les rôles se distribuent ainsi :

- une personne apporte le mortier sur le mur,
- une autre amène les briques et les taille au besoin,
- une troisième les pose.

Eventuellement, une quatrième personne fabrique le mortier **(fig. 185).**

FIGURE 185 : ORGANISATION DU CHANTIER POUR QUATRE PERSONNES



Adobe News

Il y a de multiples façons de décorer les murs avec les briques, en jouant sur les appareillages. La décoration des façades est très courante en Iran **(fig. 186),** en Nubie **(fig. 187),** au Maroc et au Yémen.

FIGURE 186 : KACHAN VILLAGE DE MECHED ARDEHAL (IRAN)



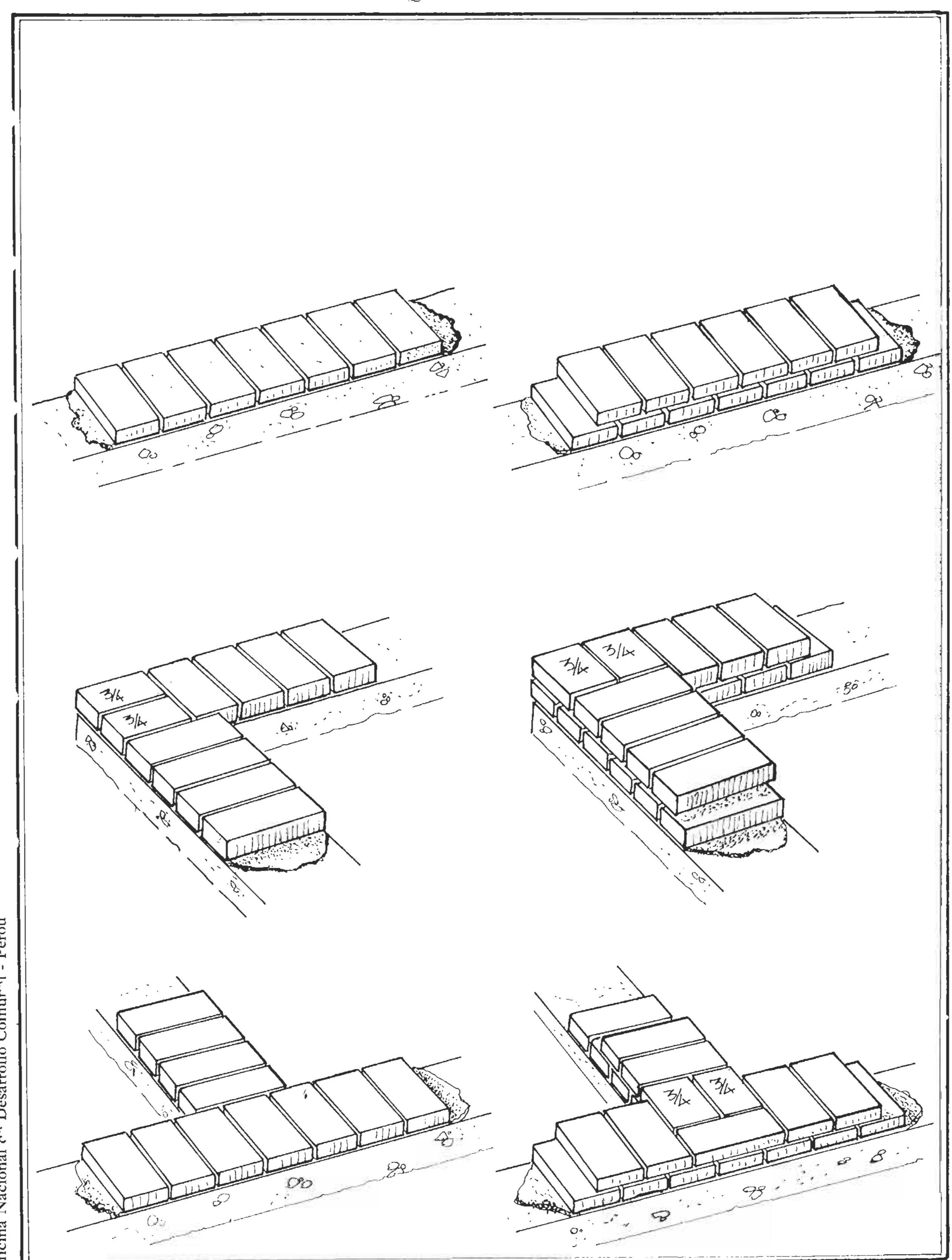
Bijan Rafii

FIGURE 187 : MAISON NUBIENNE PRES D'ASSOUAN (EGYPTE) LES DECORATIONS ET LES ENDUITS DE FAÇADE SONT SOUVENT REALISES PAR LES FEMMES



Nathalie Sabatier

FIGURE 180 : APPAREILLAGES
DE BRIQUES RECTANGULAIRES



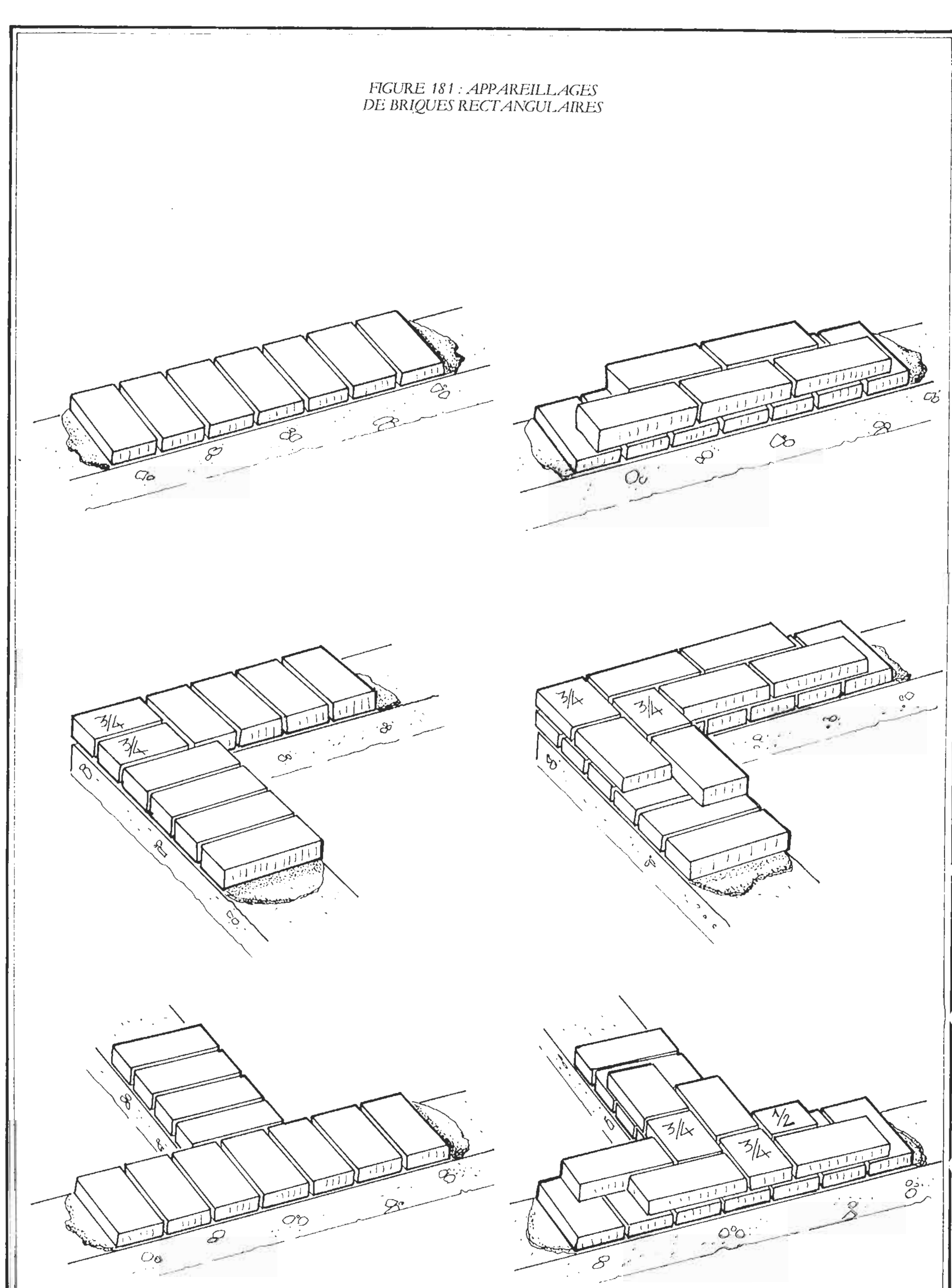
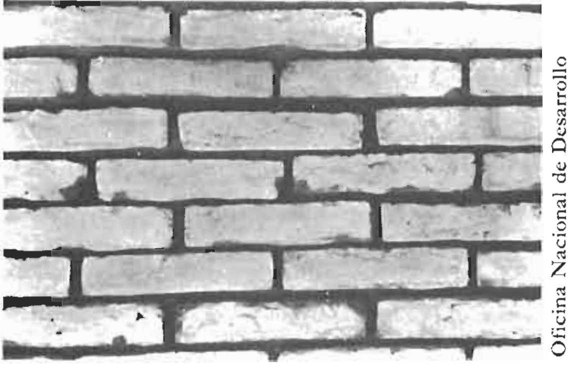


FIGURE 181 : APPAREILLAGES DE BRIQUES RECTANGULAIRES

Oficina Nacional de Desarrollo Comunal - Pérou

FIGURE 182 : APPAREILLAGES DE BRIQUES CARREES

FIGURE 184 : APPAREILLAGE DE BRIQUES STABILISEES, PROJET CAYALTI (PEROU)



Oficina Nacional de Desarrollo Comunal - Pérou

Protection des angles

On peut protéger de l'érosion les coins des bâtiments en remplaçant l'adobe des angles par des briques cuites ou par des pierres **(fig. 188).** Ces éléments plus résistants servent également à renforcer la structure. Cependant, dans les zones sismiques, le mélange de matériaux différents est déconseillé.

FIGURE 188 : MAISON TRADITIONNELLE (REGION TOULOUSAINE)



CRATerre

Renforcement de la structure

Outre le chaînage et la fondation, indispensables dans tous les cas, il est souvent recommandé de renforcer les murs par des éléments travaillant en traction et en flexion. Ceci s'applique surtout dans le cas de murs très longs, de fondations trop faibles sur des terrains peu résistants, ou de constructions en zones sismiques. Ce renforcement peut être indépendant (poutres et poteaux) ou inclus dans la maçonnerie elle-même (maçonnerie armée).

– **Le chaînage :** Placé 2 ou 3 assises au-dessous du sommet des murs, il forme un maillon continu tout autour de la maison et empêche les murs de s'écarter. Il peut également servir de « panne sablière » en supportant les chevrons du toît, et de linteaux pour les portes et les fenêtres. On le réalise habituellement en béton armé, en bois ou en treillis métallique **(fig. 190).** Son ancrage au mur peut être amélioré en coulant aux angles de petits massifs de béton qui remplacent les dernières assises de briques dans les coins. Le chaînage se trouve alors imbriqué dans la maçonnerie.

– **Poteaux :** Reliant la fondation au chaînage, ils complètent l'ossature de la maison. On les place aux endroits les plus faibles : angles, et milieux des longs pans de murs. Ils apportent un complément de rigidité vis à vis des sollicitations horizontales. Réalisés en briques, ils deviennent des contreforts extérieurs que l'on construit en même temps que les murs en soignant particulièrement leur liaison avec la maçonnerie. En béton armé, les poteaux ont en général la même épaisseur que les murs, et il est souvent plus facile de ne les couler qu'une fois ces derniers terminés. Avec l'utilisation du bois, on rejoint la construction en colombages, où le travail de charpente peut devenir très complexe. On peut tout simplement placer à chaque angle et aux ouvertures des poteaux de 20 cm de côté, reliés à leur sommet et à leur base par une forte planche ; on remplit ensuite les intervalles par un « hourdage » de briques de même largeur que les poteaux. Ainsi déchargés d'une bonne partie de leurs contraintes, les murs peuvent être plus minces et la construction plus légère.

Dans un système constructif américain, on utilise une armature métallique : les poteaux sont des tubes d'acier de 4 cm de diamètre, ancrés dans la fondation en béton et soudés à leur sommet à un fer plat de 1 × 10 cm formant chaînage. Les murs de remplissage, de 30 cm d'épaisseur comportent des briques spéciales, pourvues d'une encoche en demi-cercle, et placées à l'endroit des poteaux.

Renforcement de la maçonnerie : maçonnerie armée

Dans ce cas, l'armature ne forme plus une ossature indépendante, mais est intégrée à la maçonnerie elle-même ; on la réalise le plus souvent en fer à béton. Cependant, des expériences ont été menées au Pérou sur des renforcements en roseaux (cf. « problèmes en zones sismiques »). Quels qu'ils soient, les matériaux de l'armature ne doivent pas être trop gros afin de ne pas rompre l'homogénité de la maçonnerie. On doit de plus s'assurer qu'ils adhèrent suffisam-

FIGURE 190 :
DIFFERENTS TYPES DE CHAINAGE

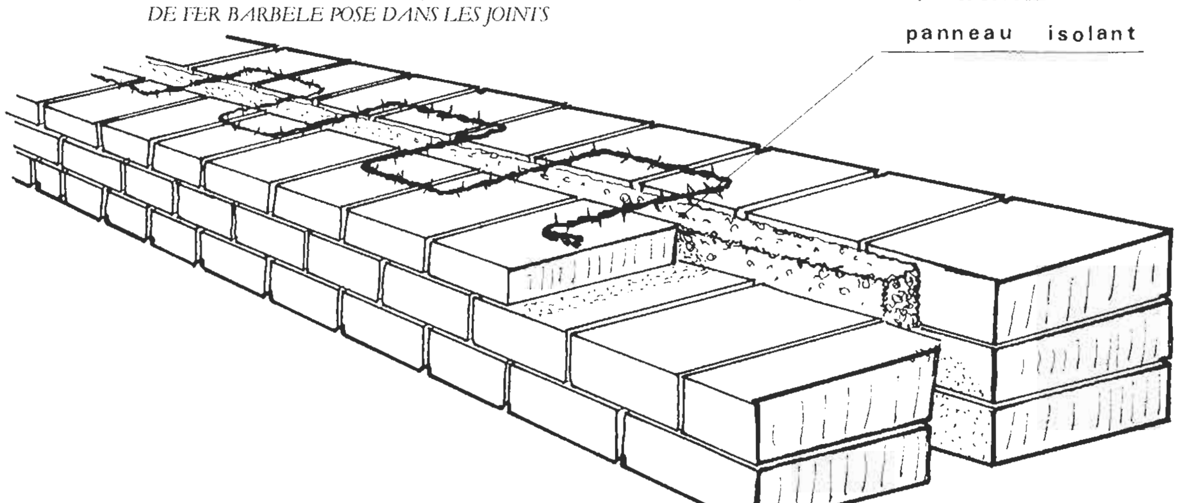
Béton armé

Bois

Treillis

Planches clouées

FIGURE 191 : MUR DOUBLE ISOLE. LES DEUX PANNEAUX DU MUR SONT RELIES PAR UN FIL DE FER BARBELE POSE DANS LES JOINTS



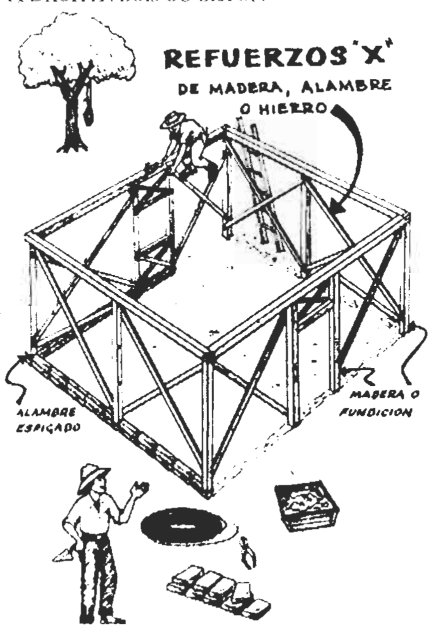
Adobe Today

ment au mortier et qu'ils sont protégés contre la corrosion ou le pourrissement.

Le renforcement peut être situé dans le plan horizontal et/ou vertical. Horizontalement, on le place entre les lits de briques, à chaque assise ou une assise sur deux. L'armature sera suffisamment mince pour être bien enrobée par le mortier. On utilise souvent une sorte de bande de treillis métallique large et peu épaisse. On peut profiter de cette armature pour réaliser un « mur double » formé de deux parois séparées par un vide de quelques centimètres, qui améliore l'isolation thermique **(fig. 191)**; il faut noter toutefois que les étriers, habituellement prévus pour relier les deux parois de tels murs, ne constituent pas un renforcement, qui doit être continu pour être efficace.

Verticalement, les éléments de renforcement (fer à béton ou roseau) sont ancrés dans le soubassement et le chaînage. Il faut les choisir suffisamment rigides pour ne pas les voir se plier sous leur propre poids. On utilise alors pour la maçonnerie des briques à encoches ou trouées que l'on enfile par le haut autour de cette armature verticale (cf. « problèmes en zones sismiques »).

FIGURE 192 : STRUCTURE PARASISMIQUE GUATEMALA.
EN HAUT : RENFORCEMENTS EN « X » EN EN BOIS, FIL DE FER, OU FER
A GAUCHE : FIL DE FER BARBELE
A DROITE : BOIS OU BETON

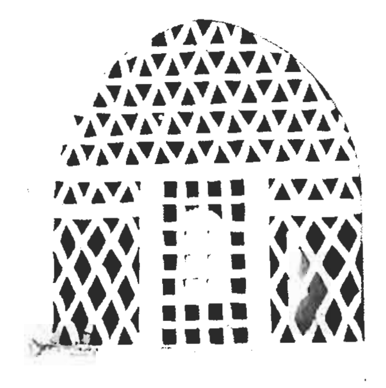


Oficina Nacional de Desarrollo Comunal - Pérou

Ouvertures

S'ils sont en bois ou en béton armé, les linteaux des portes et fenêtres doivent reposer de chaque côté sur au moins 20 cm de maçonnerie (50 cm en zones sismiques). Les ouvertures en arc sont faciles à réaliser en briques ; on peut les soutenir pendant la construction par un remplissage de briques, de terre ou par un coffrage spécial ; celui-ci doit être posé sur de petits tas de sable ou sur des cales, de façon à être enlevé plus aisément.

FIGURE 195
FENETRES A CLAUSTRA AU NOUVEAU VILLAGE DE GOURNA (EGYPTE)



Gilles Garby

Une maison en adobe dans une communauté paysanne péruvienne

Luc Bazin



FIGURE 197 : HUANCAYO (PEROU)

Dans un groupement rural, les bâtiments n'ont pas tous la même utilisation. Les uns sont réservés à l'habitation, d'autres, plus petits, servent de grenier où l'on garde les pommes de terre, le blé, le maïs, et le quinua, les outils de travail et le bois de chauffage. Quelquefois celui-ci est stocké dans un petit appentis appuyés contre un des murs de l'habitat (**fig. 198**). *La maison, faite en adobe se caractérise par son toit à deux pentes recouvert de chaume (Ichu Festuca : graminée qui pousse en petites touffes, herbe sèche des hauts-plateaux). On constate presque toujours l'absence de fenêtre si ce n'est une petite ouverture dans la partie supérieure du mur pignon. Une seule porte de planches brutes grossièrement jointives ouvre accès à l'intérieur de l'unique pièce d'habitation. Cette porte est rehaussée d'une marche qui évite la pénétration de l'eau lors de la saison des pluies. A l'extérieur à côté de la porte, une grosse pierre plate (60 cm env.) et une petite pierre ronde qui tient dans la main servent d'instruments de cuisine pour piler le grain, écraser les pommes de terre etc. Sur le mur : de la viande de lama ou de*

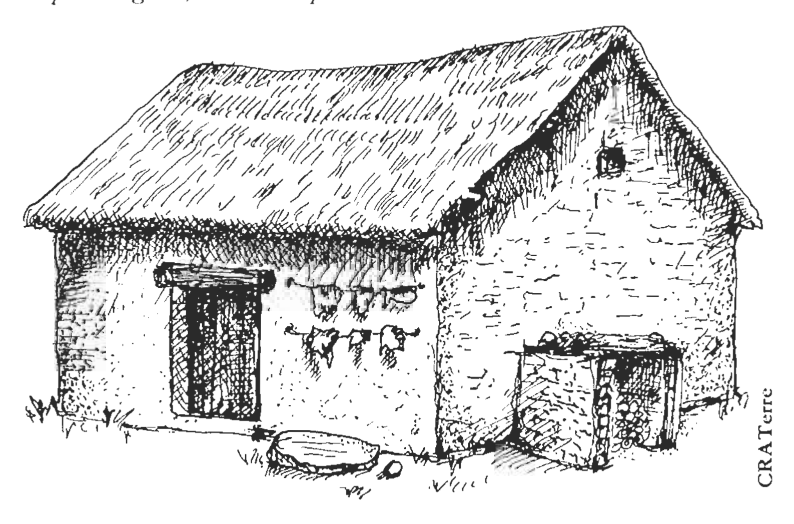


FIGURE 198 : MAISON PAYSANNE (PEROU)

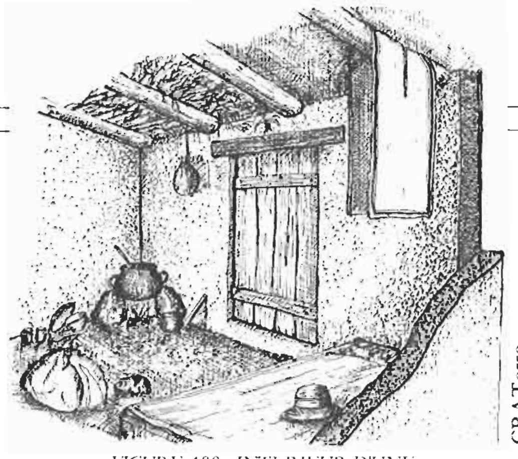


FIGURE 199 : INTERIEUR D'UNE MAISON PAYSANNE, PUNO (PEROU)

mouton taillée en fines tranches salées (CHARQUI) **(fig. 199)**; *l'obscurité vous surprend : la seule lumière vient de la porte. La petite ouverture dans le mur pignon n'offre qu'un faible rayon qui se perd dans la charpente... La fumée qui subsiste répand une odeur de charbon de bois qui se mélange à celle de la terre.*

Le sol est en terre battue, il semble prolonger les murs laissés bruts, de la même teinte que lui.

Dans un coin de la pièce se trouve le foyer. Deux ou trois grosses pierres soutiennent la marmite en terre cuite. Le bois est utilisé parcimonieusement, on le stocke au sec dans la charpente. Le foyer sert en même temps à la cuisine et à réchauffer la pièce.

La fumée filtre à travers le toit et faire la cuisine à l'intérieur aide à la conservation du chaume d'Ichu.

Au sol, à proximité du feu, les quelques objets de vaisselle s'appuyent contre le mur. En face, de l'autre côté de la pièce, le lit tient toute la largeur. Des peaux de moutons et des couvertures le recouvrent.

Des ponchos et les peaux qui serviront de couches (sur le sol) pendent aux poutres. Des cobayes (comestibles) familiers de la maison, élevés pour leur chair, trouvent refuge sous le lit.

Les vêtements et affaires personnelles sont rassemblés dans des balluchons de tissus disposés çà et là par terre.

Au-dessus du linteau de bois de la porte, un cactus, symbole de croyances religieuses et magiques, est suspendu à un clou en guise de porte-bonheur...

La structure familiale comprend le père, la mère, les enfants, les grand-parents, et s'élargit aux oncles, cousins, etc. La famille dort soit dans l'unique pièce soit dans des petites pièces contigües, l'heure du repas rassemble deux fois par jour toute la maisonnée. Le lever du soleil et son coucher correspondent aux deux repas quotidiens (souvent une simple soupe épaisse de pommes-de-terre et du thé avec du maïs grillé). Toute la journée se passera à l'exérieur pour le paysan, il emportera avec lui un petit sac de coca et de maïs grillé.

La famille entière travaillera aux champs, les enfants les plus jeunes accrochés au dos de leur mère, les autres garderont les moutons... La maison restera presque vide. Les semis et les récoltes demandent la participation de tous. Le reste du temps, les tâches sont un peu plus diversifiées certains en profiteront pour réparer ou construire des bâtiments, d'autres pour tisser les ponchos et le Tocuyo (laine tissée) etc. D'autres encore pour fabriquer des objets (céramiques, cuillères en bois...) qui, vendus au marché, rapporteront quelques « soles » supplémentaires.

Lors des transhumances ou lorsque la terre cultivable est trop éloignée de l'habitat, le paysan construit une sorte de hutte précaire avec des arbustres, de l'Ichu et des bouts de plastique s'il en possède... Cette hutte lui servira de refuge pour dormir et le protéger de la pluie. On en trouve aussi bâties en pierres revêtues de chaume.

La base de l'économie paysanne repose sur la culture de la terre et toutes les activités annexes restent en étroites relations avec celle-ci.

Aussi la construction de bâtiments est également liée à la vie agricole tant au point de vue de l'organisation même du chantier que des époques de l'année qui lui sont favorables. Par exemple la production de briques d'adobe et leur mise en œuvre se situent après les récoltes à la saison sèche, (de juin à septembre). L'entretien des toits de chaume ainsi que leur fabrication doit se faire avant la saison des pluies...

Des habitats d'adobe face aux séismes

Les séismes sont des phénomènes particulièrement dévastateurs, par exemple, au Pérou, le tremblement de terre du 31 mai 1970 causa la mort de plus de 40 000 personnes. De nombreuses zônes bâties en adobe ont été gravement touchées. A Coisho cependant, à 40 Km de l'épicentre du séïsme et sur un sol rocheux, les dégats furent minimes et beaucoup de constructions en adobe résistèrent et sont encore habitées. Cet exemple montre que dans certaines conditions les constructions en briques crues peuvent se comporter convenablement face à un tremblement de terre

Quels sont les facteurs déterminant de la résistance d'un bâtiment durant un séïsme ? Des études permettent d'apporter à ce problème quelques éléments de réponse. Mais d'abord qu'est-ce qu'un séïsme ?

La croûte terrestre est divisée en grandes plaques. Ces plaques se trouvent en dessous des océans et même sous des continents entiers (plaque Pacifique, plaque Africaine, plaque Antarctique, etc...) Des tremblements de terre peuvent se produire à tous les endroits du monde situés au-dessus de la frontière de deux plaques. Ces plaques sont toujours en mouvement (quelques centimètres par an) et s'entrechoquent entre elles. Plusieurs phénomènes se produisent. Les plaques glissent l'une sur l'autre ou se frottent tangentiellement l'une contre l'autre. Pendant de nombreuses années, elles se tirent en directions opposées sans créer de mouvements à la surface de la terre. Ce frottement cause des pressions considérables qui s'amplifient d'année en année. Tôt ou tard, les endroits les plus faibles ne pourront supporter ces pressions. A ce moment, les plaques se mettront brusquement en mouvement, produisant un séïsme.

En effet, les chocs se transmettent à la surface du sol, et l'on peut schématiser le phénomène produit en deux mouvements principaux qui peuvent, du reste, se superposer :

a) Un mouvement latéral : la terre bouge (sensation d'être tiré, puis poussé), ce qui se traduit pour le bâtiment par un déplacement de la fondation alors que le reste de celui-ci par inertie reste en arrière.

b) Un mouvement ondulatoire : (sensation de « tangage »). Celui-ci peut se traduire par un soulèvement du bâtiment. Lors d'un séïsme, un mur se comportera différemment selon sa conception **(fig. 201).**

FACTEURS FAVORISANT LA DETERIORATION D'UN BATIMENT LORS D'UN SEISME réf. 43

1) Si l'emplacement du bâtiment n'a pas été bien choisi : mauvaise implantation (terrain trop escarpé, mal draîné...), sol trop argileux ou trop sableux (phénomène de liquéfaction). Le terrain à bâtir doit offrir une résistance à la compression de 2 Kg/cm^2 pour l'adobe non stabilisé et 1 Kg/cm^2 pour l'adobe stabilisé. Dans le cas de maisons mitoyennes, on laissera un intervalle de 5 cm minimum entre elles.

2) Si le bâtiment est mal dimensionné :
– s'il a plus d'un niveau (sa hauteur dépassant 3 m) ;
– si ses proportions sont mal équilibrées (maisons trop longues, trop hautes...) ;
– Les bâtiments en L sont déconseillés.

3) Si le dimensionnement des murs est incorrect. Notamment si le rapport hauteur/épaisseur est trop important. (Rappel : proportions idéales : (e = 1 ; l = 12 ; h = 8).

4) Si les matériaux employés pour l'édification des murs sont mélangés n'importe comment (effet de « marteau » entre deux types de matériau). Si les briques d'adobe ont été mal réalisées (utilisation d'une mauvaise terre, moulage peu soigné...)

6) Si le dimensionnement des briques est incorrect. Après quelques recherches, il est apparu que la forme des briques carrées offrait une résistance supérieure au séïsme. Leur dimensionnement est important : en



FIGURE 201 : COMPORTEMENT D'UN MUR LORS D'UN SEISME

A - UN MUR SEUL SANS POTEAU NI CHAINAGE NE RESISTE PAS
B - IL A UNE RESISTANCE SUPERIEURE DANS LE SENS LONGITUDINAL
C - DES MURS AVEC RENFORCEMENTS VERTICAUX RESISTENT MIEUX MAIS TRES INSUFFISAMMENT
D - UN MUR CHAINE RESISTERA DAVANTAGE
E - DEUX MURS PARALLELES (NON CONTREVENTES) NE RESISTERONT PAS A UNE POUSSEE TRANSVERSALE
F - LES MURS CHAINES ORTOGONAUX FORMENT UNE « BOITE » PLUS RESISTANTE

INIAVI - Pérou

effet, des calculs ont permis d'établir qu'une brique carré de 38 × 38 × 8 cm a une résistance à une force sismique 4 fois supérieure à une brique rectangulaire de 19 × 40 × 12 cm.

7) Si les briques sont mal appareillées, spécialement lorsque celles-ci sont posées en panneresse.

8) Si les couches de mortier entre les différentes assises sont insuffisantes (inférieures à 2 cm) ou excessives et si les joints verticaux sont mal remplis.

9) Si les ouvertures sont trop grandes ou trop nombreuses, dans un seul mur, le rapport vides/pleins doit être inférieur à 1/3. Celles-ci se situeront de préférence dans le mur de plus grande longueur. Elles ne doivent pas se trouver à moins d'1 m de l'angle. Les linteaux ne doivent pas être trop courts, ils doivent s'ancrer dans le mur d'au moins 50 cm de chaque côté. Les portes doivent s'ouvrir à l'extérieur.

10) Si on a omis de chaîner le bâtiment et si l'on n'a pas prévu de renforcements horizontaux et verticaux.

11) Si le toit est trop lourd ou mal posé. Si des poutres du toit reposent sur un linteau. Le poids du toit doit être réparti uniformément sur les murs chaînés.

En zône sismique, il est nécessaire de renforcer les murs bâtis en adobe. Il existe différentes méthodes (dont celles entrevues précédemment). Nous nous attarderons sur les systèmes qui visent à renforcer la maçonnerie même du mur avec des roseaux. A ce sujet, des recherches furent

menées au Pérou. Des essais ont été effectués sur des murs témoins afin de déterminer quelle influence a ce type de renforcement sur un mur soumis aux efforts de traction, flexion et cisaillement lors d'un séïsme.

A) Les efforts de traction se traduisent aux angles par un écartement des murs orthogonaux. Aussi, il convient d'effectuer un renforcement horizontal. En fait, il s'agit de « chaîner » la maison à chaque lit de mortier ou toutes les deux assises à l'aide de roseaux. Une étude de Vera Gutierrez (1972) fournit les indications suivantes : par rapport à un mur en briques hourdées au mortier de terre (joint de 2,5 cm),

1) Utilisation de mortier de terre et 15 % de ciment sans renforcement de roseau, ce qui produit une résistance à la traction multipliée par 2,5.

2) Utilisation de mortier de terre + ciment + « chaînage » de 2 roseaux (caricillo), ce qui produit une résistance multipliée par 5.

3) Utilisation de mortier de terre + ciment + « chaînage » de 4 roseaux, ce qui produit une résistance multipliée par 15.

B) Les efforts de flexion se traduisent par une déformation de murs. Isabelle Moroni (1971) fit un essai destiné à montrer l'influence d'un renforcement horizontal en roseaux (caña de guayaquil) et celle de la stabilisation du mortier avec du ciment, par rapport à un mur de briques hourdées au mortier de terre.

1) Utilisation de mortier de terre + renforcement horizontal de 2 roseaux : moment de flexion du mur × 4.

2) Utilisation de mortier + ciment + renforcement horizontal de 2 roseaux : moment de flexion du mur × 34.

Suite à une série d'essais, deux projets officiels furent réalisés expérimentalement au Pérou. Ce sont respectivement :

– en 1975, le projet d'habitats sociaux à Cayalti (Département de Lambayeque) ;

– et en 1976, la construction d'un habitat rural côtier modèle, à Lima.

PROJET DE CAYALTI (1975)

(fig. 202), réf. 44

C'est un chantier expérimental, à l'initiative du « Ministerio de Vivienda y construccion ». Il comporte une centaine de logements sociaux en adobes stabilisées et renforcées par des roseaux.

Les maisons comportent 4 pièces articu-

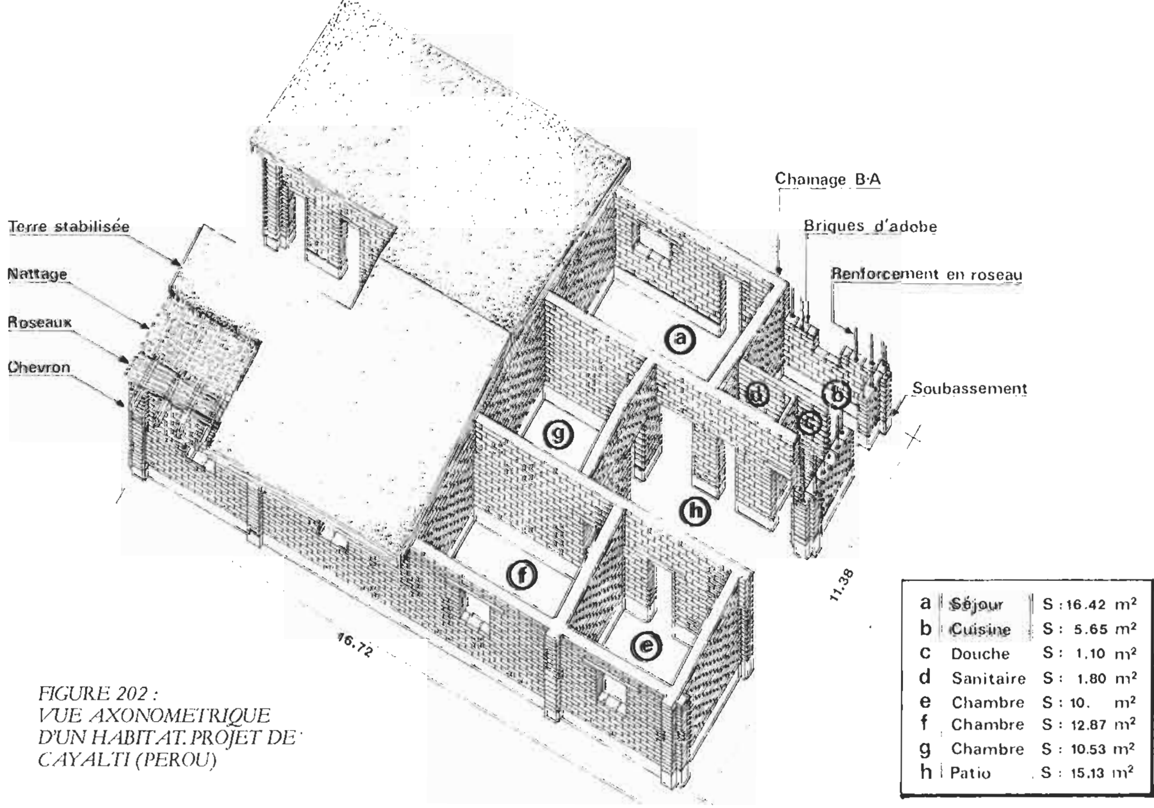


FIGURE 202 : VUE AXONOMETRIQUE D'UN HABITAT. PROJET DE CAYALTI (PEROU)

lées autour d'un patio. La surface habitable est de 90 m^2.

Les murs ainsi que les cloisons sont en briques d'adobes carrées de 40 cm de côté. Leur conception ainsi que leur appareillage permet un renforcement vertical en roseaux traversant chaque brique ainsi qu'un renforcement horizontal des lits de briques.

Les toits sont en terre stabilisée, posée sur une charpente en bois recouvert d'un nattage tressé. (cf. « Toitures »).

Ces habitats revenaient à 3000 soles/m^2 (75 F/m^2) en 1975.

Fabrication des briques à Cayalti

La terre est extraite mécaniquement, on la tamise à 5 mm, on la stabilise ensuite avec du bitume type RC 250 (Cutback RC2) qui est stocké dans des puits cimentés à l'intérieur et recouverts d'une bâche (afin d'assurer sa bonne conservation pendant plusieurs mois). On mélange 2 % de ce stabilisant à la terre. Le malaxage se fait mécaniquement ou manuellement (à la pelle, au rateau et avec les pieds). La terre, une fois prête à l'emploi est moulée dans des moules carrés, sans fond et à double capacité **(fig. 203, 204)**.

Il y a deux types de moules :

FIGURE 203 : MOULES UTILISÉS A CAYALTI

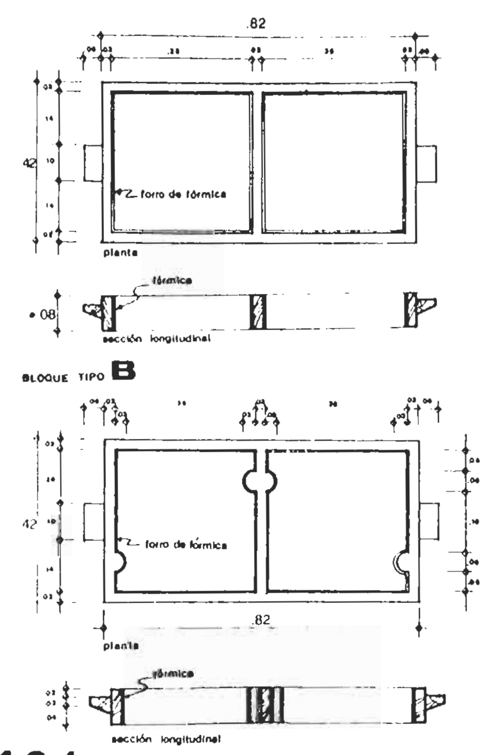
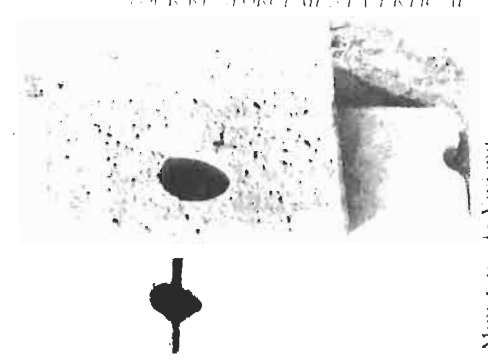


FIGURE 204 : BRIQUES TROUÉES POUR RENFORCEMENT VERTICAL

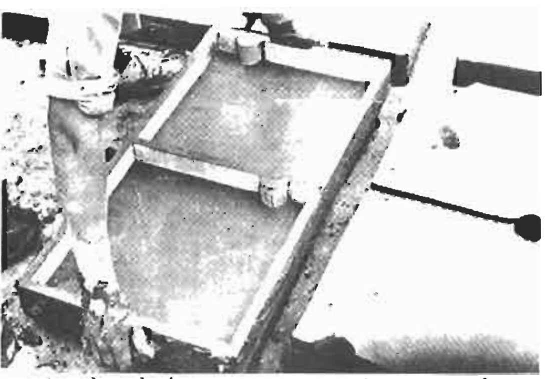


Ministerio de Vivienda y Construccion - Perou

– **Le type A** est un moule ordinaire donnant une brique pleine dans laquelle on percera un trou 24 h après démoulage pour qu'on puisse « l'enfiler » sur un roseau.

– **Le type B** comporte des réservations semi-circulaires sur deux de ses côtés donnant une brique d'une forme particulière qui juxtaposée à une autre semblable permettra elle aussi l'inclusion d'un roseau. L'intérieur des moules est revêtu de formica. Ils sont remplis en commençant par les angles. La terre est ensuite égalisée à la règle. Le démoulage se fait en donnant une secousse verticale **(fig. 205)**. Trois jours

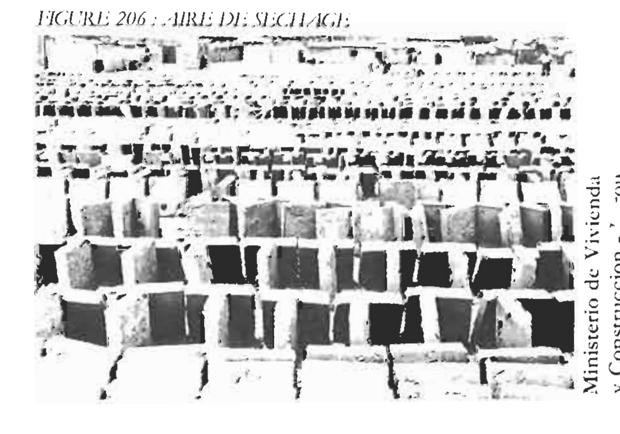
FIGURE 205 : DÉMOULAGE EN UNE SECOUSSE VERTICALE



Ministerio de Vivienda y Construccion - Perou

après, les briques sont posées sur chant pour mieux sécher **(fig. 206)**. On peut les utiliser au bout d'un mois.

FIGURE 206 : AIRE DE SÉCHAGE



Ministerio de Vivienda y Construccion - Perou

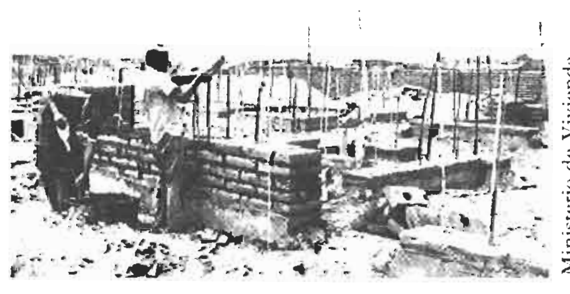
Elévation des murs
(fig. 207)

– Les briques sont soigneusement nettoyées.

– Elles sont ensuite hourdées au mortier de terre (10 vol.) + ciment (1 vol.) + bitume (2 %). Il n'est pas nécessaire de mouiller les briques lors de la mise en place.

– Les roseaux qui servent de renforcement ont 2,5 à 3 cm de diamètre (variétés : Carrizo et Caña brava). Les roseaux sont

FIGURE 207 : ELEVATION DU MUR. LES BRIQUES TROUEES SONT ENFILEES SUR LES ROSEAUX



Ministerio de Vivienda y Construccion - Pérou

très perméables à l'eau, aussi lors de leur inclusion dans le mur, l'eau augmente leur volume et des fissures de retrait s'en suivront dans le mortier qui les entoure. Pour éviter cela, on les imperméabilise au bitume. On les badigeonne de 2 couches de bitume RC 250 dilué dans de l'essence ou du kérosène à raison de 10 à 20 % en volume. On laisse sécher les roseaux durant 5 jours avant de les utiliser.

– Pour les renforcements verticaux, les roseaux les plus droits et les plus secs sont choisis. On les coupe en deux dans leur longueur puis on les imperméabilise. Pour faciliter l'ancrage à la fondation, on moule à leurs extrémités un petit cube de béton.

FIGURE 208 : APPAREILLAGE DES BRIQUES

L'ancrage à la fondation doit respecter un même écart entre chaque roseau qui correspond à l'espacement des trous des briques.

– Les briques de type A et celles de type B sont posées alternativement à chaque lit. Celles du type A sont enfilées sur les roseaux par le haut et celles de type B sont simplement posées de part et d'autre des roseaux, leurs encoches latérales permettant le passage de ceux-ci. Les trous sont remplis soigneusement de mortier.

– On évite les raccords entre deux roseaux. Toutefois, s'il s'avère nécessaire de les prolonger, on fait deux ligatures en fil de fer à quarante cm d'intervalle.

– Les bouts de roseaux sont ancrés au chainage.

– Pour les renforcements horizontaux, on coupe les roseaux en quatre dans leur longueur, on les imperméabilise de même. On en place deux par assises sur un lit de mortier. Les roseaux horizontaux sont liés à chaque roseau vertical avant de les recouvrir de mortier.

PROJET DE LIMA (1976)

C'est le deuxième projet officiel qui, après celui de Cayalti, emploie le système de renforcement des murs d'adobe avec des roseaux. Il s'agit de réaliser ici avec cette méthode un habitat rural côtier modèle.

Le volume expérimental **(fig. 209/210)** est un module de base carrée composé de quatre pièces (une cuisine, un séjour et deux chambres), le sanitaire se trouve dans un petit bâtiment annexe. Le module de base a une superficie de 50 m² environ, une extension de plusieurs chambres contigües peut être envisagée, elle se situe alors dans un bâtiment séparé. Le plan de l'ensemble vise à établir des constructions indépendantes les plus compactes possibles afin de mieux résister aux séïsmes.

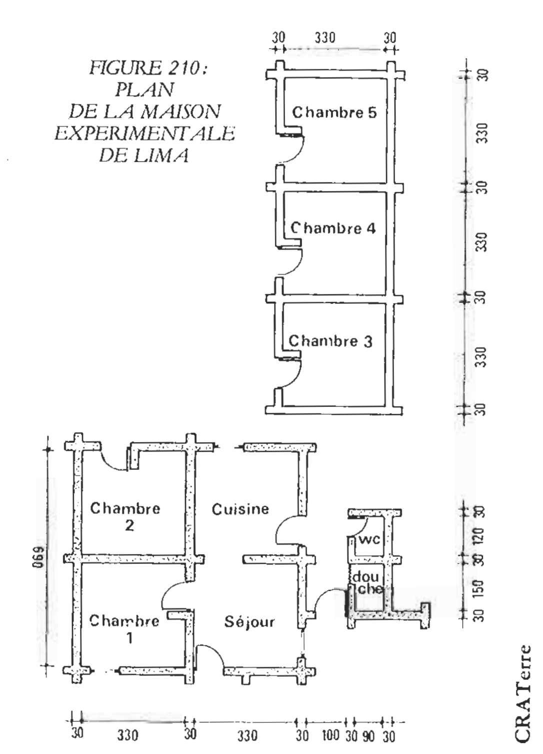
Les briques sont stabilisées au bitume RC 250 (RC 2). Elles sont formées dans des moules carrés avec deux encoches semi-circulaires au milieu des deux côtés oppo-

FIGURE 209 : HABITAT RURAL COTIER MAISON EXPERIMENTALE EN ADOBE (LIMA, PEROU)



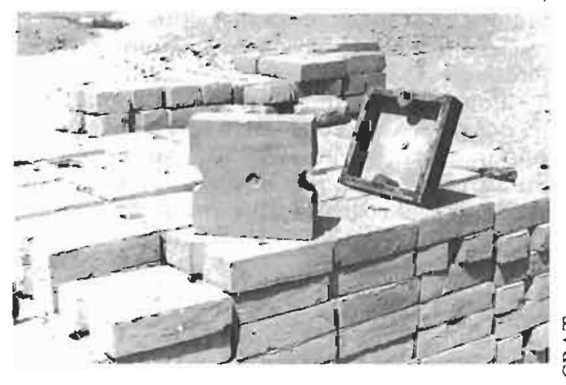
CRATerre

FIGURE 210 : PLAN DE LA MAISON EXPERIMENTALE DE LIMA



sés **(fig. 211)**. Contrairement à l'expérience de Cayalti, on n'utilise ici qu'un type de brique conçue pour pouvoir être facilement mis en place de part et d'autre des roseaux et non enfilée sur ceux-ci. On utilise des moules spéciaux pour faire les demi-briques.

FIGURE 211 : MOULE ET BRIQUE (MAISON EXPERIMENTALE DE LIMA)



CRATerre

- Les briques ont des dimensions de 28 × 28 × 8 cm.
- Les 1/2 briques ont des dimensions de 28 × 13 × 8 cm.

Les moules utilisés ont un fond rugueux comportant des rainures de 2 mm pour favoriser l'entrée d'air nécessaire au démoulage. La méthode employée est celle décrite précédemment, et que l'on a nommée méthode « à coup de sable ».

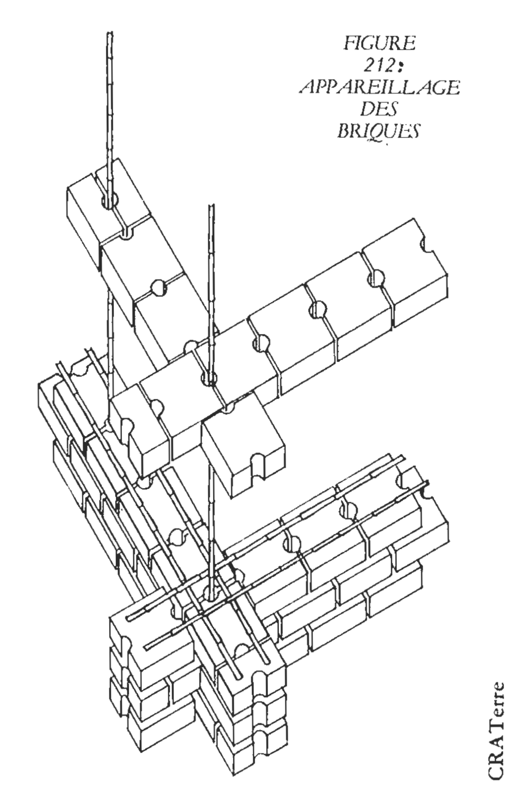
L'élévation des murs **(fig. 212)** se fait de la même manière qu'à Cayalti. Le mortier utilisé est composé de ciment (1 vol.) et de sable (8 vol.). Les joints horizontaux ont 2 cm d'épaisseur et ceux verticaux ne doivent pas être inférieurs à 1,5 cm. Tous les murs y compris les refends se croisent aux angles en formant des contreforts.

La toiture est composée d'éléments modulaires qui couvrent chacun une pièce. Ces éléments, en forme de paraboloïde-hyperbolique sont constitués d'une structure en eucalyptus ronds, sur laquelle sont cloués des roseaux, eux-mêmes recouverts de 4 cm de terre stabilisée à 4 % de bitume.

Une étude de coût fut faite par l'« Officine de Investigación y Normalisacion ».

Un bâtiment de 91,35 m^2 revient à 166 670 Soles, soit 4000 F environ (un salaire d'un cadre moyen péruvien est de 300 F environ).

FIGURE 212 : APPAREILLAGE DES BRIQUES



La répartition du prix de revient se fait comme suit :

Fondations soubassement	11 %
Eléments de béton (chainage, etc.)	5 %
murs en adobe renforcés de roseaux	33 %
Sols (béton, carrelage)	6 %
Couverture	11 %
Enduits intérieur et peinture	7,5 %
Huisserie et vitrage	11 %
Sanitaire	6,5 %
Eau et électricité	9 %

On note que les murs d'adobe représentent 27 % du prix de revient du bâtiment et que les renforcements de roseaux en représente 6,6 %. Le prix d'un m^2 de mur de 28 cm d'épaisseur en adobe revient à 373 Soles, soit 9 F et les roseaux reviennent à 11 Soles (0,30 F) le mètre linéaire.



CRATerre

4. BRIQUES DE TERRE COMPRESSEES

Nous avons vu dans le chapitre adobe qu'il est possible de façonner des briques avec une terre ayant une consistance plastique. Maintenant, nous allons travailler avec une terre dite « sèche », qui a la même teneur en eau que le pisé. Elle sera comprimée à l'aide d'un fouloir ou au moyen d'une presse pour façonner des briques de terre compressées. Après séchage, elles seront utilisées de la même façon que les briques d'adobe, les briques cuites ou les agglomérés de ciment.

Par rapport au pisé, ce mode de production présente les mêmes avantages que les briques d'adobe à savoir :

– la possibilité d'échelonner la fabrication sur une longue période ;

→

– la diminution des fissures du mur, le retrait s'effectuant au séchage sur chaque brique ;

– une souplesse plus grande dans la mise en œuvre et dans la conception architecturale.

Le principal inconvénient restant les manipulations importantes du matériau et par conséquent une productivité plus faible.

Les briques compressées présentent en outre sur les briques d'adobe les avantages suivants :

– possibilité de stockage immédiat ;

– surface de fabrication et de séchage beaucoup plus réduite et pouvant être couverte ;

– briques plus régulières ;

– possibilité de fabriquer des formes de blocs spéciales : blocs creux, à emboitement, drains, tuiles, etc.

– possibilité de ne stabiliser que la surface du bloc ;

– résistance à la compression plus forte ;

– meilleur fini.

En retour, la fabrication des briques est plus longue, et reste tributaire d'une machine souvent chère.

BLOCS DE TERRE COMPRESSES A LA MAIN

Nous montrons **(fig. 214)** la fabrication d'un bloc et un exemple d'utilisation dans le Bas-Dauphiné. Ce procédé à l'avantage d'utiliser très peu de matériel, il offre la possibilité de mouler et de compacter toutes les formes que l'on désire. Cependant il est rarement utilisé car beaucoup plus long que le pisé.

Après la deuxième guerre mondiale, ce type de production a été employé, en France et en R.D.A **(fig. 213)**, dans quelques chantiers de reconstruction d'habitat social. Les blocs étaient réalisés dans des moules en bois remplis de terre puis damés à l'aide d'un pilon de 6 kg. Deux hommes entrainés et disposant de dix moules individuels façonnaient 200 à 250 blocs de 10 × 20 × 40 cm ou 100 à 150 blocs de 20 × 20 × 40 cm par jour. Ce sont des travaux longs, fatiguants et à faible rendement. Nous ne nous y attarderons pas car actuellement il existe des presses qui peuvent remplacer avantageusement ce mode de compactage et que nous détaillons dans ce chapitre.

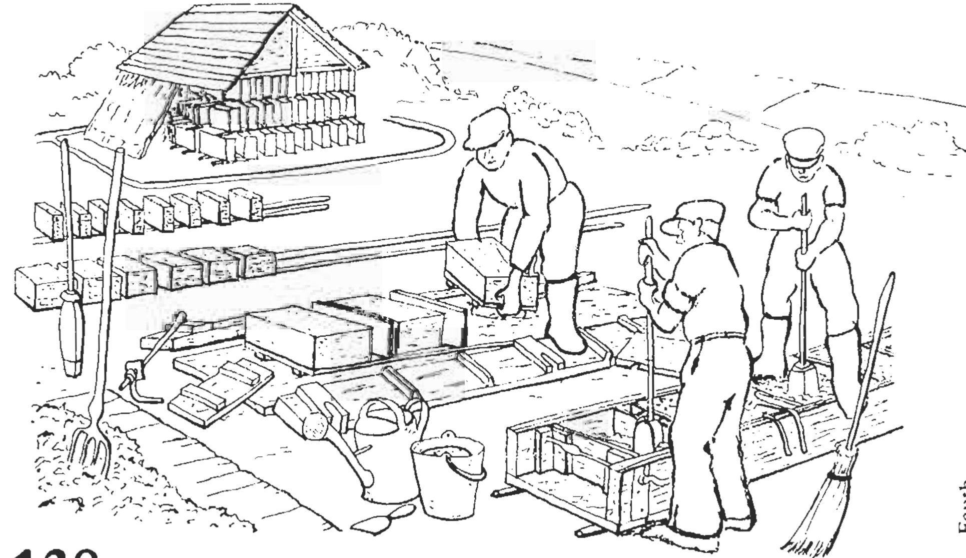
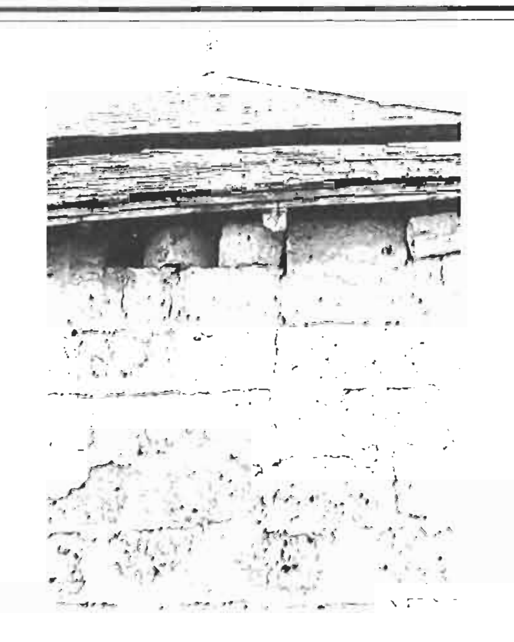


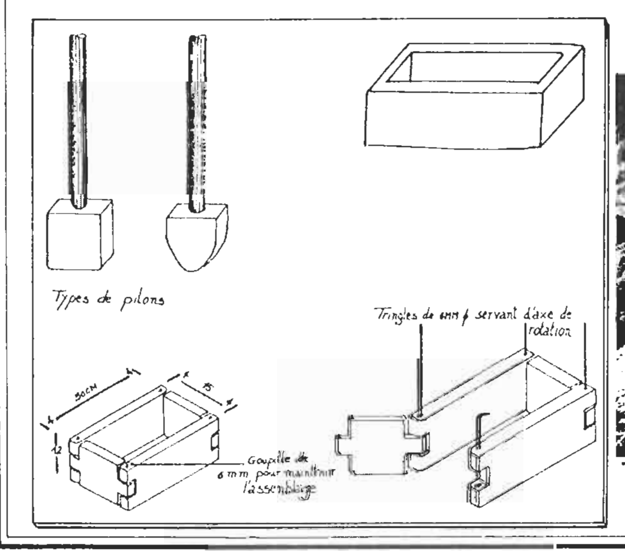
FIGURE 213 : BRIQUES DE TERRE DAMEE A LA MAIN EN R.D.A.

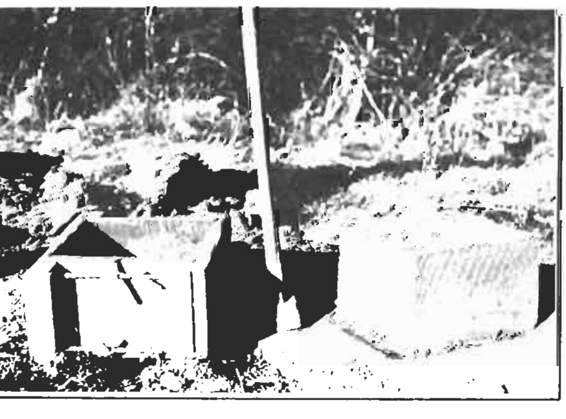
BLOCS DAMES A LA MAIN











PRESSES

Il existe dans l'industrie céramique un grand nombre de presses servant au façonnage des briques. Plusieurs sont utilisables telles quelles pour la terre stabilisée, d'autres ont subie des transformations et certaines ont été conçues spécialement pour la fabrication de blocs de terre compressés. Ils en existent encore qui ont une potentialité particulière, mais qui doivent être adaptées.

Nous en présentons vingt-huit dont six particulièrement intéressantes et disponibles sur le marché. Ces dernières sont reprises dans un tableau sélectif. Les autres, hors marché, sont mentionnées à titre d'exemple : des prototypes expérimentaux qui n'ont été construits qu'en un seul exemplaire et des presses très peu employées qui ont disparues du marché depuis une quinzaine d'année.

Un premier tableau regroupe toute la gamme des presses. De la plus simple demandant un investissement faible et pouvant être fabriquée par des artisans locaux, jusqu'à la machine très sophistiquée qui ne peut fonctionner qu'avec toute une infrastructure importante pour l'approvisionnement, la production et le stockage.

TYPE DE MECANISME DE MOULAGE	PRODUCTION	TYPE DE COMPACTAGE	28 PRESSES	Commercialisée aujourd'hui	N'est plus sur le marché	Peut être rem. sur le marché sur commande groupée spéc	Prototype	Voir paragraphe « Musée des presses »	Voir notre sélect. des meilleures presses commercialisées	Etat de la terre: Sec	Etat de la terre: Plastique
Manuel	Faible	Dynamique	B.I.T. Dakar		X			X			
			Machine à bras n° 1		X			X			
			Pilonneuse à bras type PB8		X			X			
			Rapide n° 5		X			X			
			Pilon guide système D				X	X			
		Statique	Terstaram *	X					X	X	X
			CINVA Ram	X					X	X	X
			Tek Block	X					X	X	X
			Ellson Blockmaster S, D, SB 1, SB 2	X					X	X	X
			ABI	X						X	X
			PM à bras		X			X			
			Herculéenne		X			X			
			Curer				X	X			
			Palafitte				X			X	X
Mécanique	Haute	Dynamique	Houdra type C		X			X			
			Damette n° 1		X			X			
			Pilon guide				X	X			
		Statique	Majo		X	X		X			
			Majomatic		X	X		X			
			B 75, B 100, B 150, B 200 – Hallumeca	X							X
Hydraulique	Moyenne	Statique	MMH 2000	X					X	X	
			Clu 2000	X					X	X	
			Power Tek Block				X	X			
			Winget		X			X			
			10 P, 11 P		X	X		X			
			MMH 4000				X	X			
	Très haute		L3 Drostholm	X						X	
Pneumatique	Faible	Dynamique	Type 810		X			X			

* Cette presse a été commercialisée antérieurement sous les noms suivants :
- La Madelon
- La Super Madelon
- Landcrete
- Stabibloc
- S.M.

Caractéristiques des presses

A. TYPE DE PRESSE

Nous différencions les presses suivant la source d'énergie :

– **Manuelle :** dans ce cas le compactage est assuré par une ou plusieurs personnes au moyen d'un système de levier ou de pilon.
– **Mécanique :** le compactage se fait par un système de levier ou de pilonnage qui est actionné mécaniquement par un moteur à essence, diesel ou électrique.
– **Hydraulique :** l'énergie d'un moteur est transmise au plateau de compactage par l'intermédiaire d'un système hydraulique.
– **Pneumatique :** l'énergie du moteur est transmis à un pilon par l'intermédiaire d'un système pneumatique.

Mode de compression :

– Pression statique, le compactage est assuré par le rapprochement relativement lent de deux surfaces entre lesquelles se trouve la terre, qui est retenue latéralement.
– Pression dynamique, le compactage est obtenu par un pilonnage de la terre dans un moule. La pression exercée sur la brique est difficilement contrôlable.

B. DENOMINATION :

Nous indiquons le nom donné par le constructeur.

C. ORIGINE

Certaines machines sont commercialisées par plusieurs constructeurs. Si le lecteur est particulièrement intéressé par l'achat d'une presse, il peut s'adresser aux auteurs qui lui donneront des conseils pour le choix des presses et le choix des différents constructeurs suivant le projet à réaliser.

D. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Nous donnons la dimension de la presse : largeur, longueur, hauteur, son poids, la nature du moteur (essence, diesel ou électrique) et sa consommation aproximative. Attention au moteur électrique surtout pour les chantiers éloignés, ils sont plus difficiles à dépanner que les moteurs à essence ou diesel. Les filtres des moteurs doivent être nettoyables et ne pas nécessiter des recharges.

E. CARACTERISTIQUES COMMERCIALES

Le prix est donné en francs français (hors taxe). Le délai de livraison a été confirmé par les constructeurs, et a été compté à partir de la réception de l'accréditif, définitif, confirmé et irrévocable. Ce délai n'inclut pas le délai de transport et de dédouanement.

F. CARACTERISTIQUES QUALITATIVES

• **Pression :** Une bonne partie de la puissance est perdue dans les transmissions, les frottements et l'élasticité du matériau. Les pressions de compactage de 7 à 10 kg/cm^2 peuvent être suffisantes mais sont minimums, des pressions de 20 à 40 kg/cm^2 sont excellentes. Des pressions supérieures sont superflues et engendrent un gaspillage d'énergie. Elles entraînent parfois une détérioration des qualités mécaniques des blocs par l'apparition de phénomènes de laminage.

Les pressions indiquées sont celles obtenues en production, c'est-à-dire la moyenne statistique d'un ouvrier au travail pendant 8 heures ce qui est très différent de ce que l'on peut obtenir. Exemple :

– 1 personne, une manipulation, avec la Cinva-Ram. = 20 kg/cm^2
– 1 personne, toute la journée, avec la Cinva-Ram. = 5 à 7 kg/cm^2.

• **Taux de compression :** Le rapport entre le volume d'une terre foisonnée et celui de la terre compactée est théoriquement 1,65. Le taux de compression, représentant le rapport entre le volume du moule vide et le volume de la brique produite, doit être dans tous les cas supérieur à 1,65. C'est une valeur minimum, et toute machine ayant un rapport inférieur demandera un pré-compactage manuel de la terre foisonnée. Un taux possible de 2 est idéal. On peut noter que presque toutes les presses manuelles ou mécaniques ont un rapport inférieur ou égal à 1,65 ce qui nécessite un pré-compactage. De ce point de vue on préfère les presses avec un couvercle rabatable à celles à couvercle tournant. Le couvercle rabatable écrase la terre débordant du moule, réalisant ainsi un pré-compactage léger, alors que le couvercle tournant racle l'excès de terre sans la tasser. Dans ce cas il est nécessaire de damer légèrement la terre à la main dans le moule pour pallier à la faiblesse du taux de compression. (Sur le tableau, les chiffres avancés entre parenthèse, signifient que l'information provient d'une estimation des auteurs).

• **Profondeur maximum du moule :** C'est la distance maximum qui existe entre le couvercle fermé et le plateau de compression au repos. Cette dimension diminuée de la course du plateau donne l'épaisseur maxi-

male du bloc que l'on peut produire. Pour la fabrication des tuiles, des carreaux, on peut introduire une cale (un bloc en bois dur) dans le moule pour réduire sa profondeur. On essayera d'avoir la plus grande profondeur possible afin d'obtenir un taux de compression acceptable. Sur les presses hydrauliques qui ont des taux de compression de 1,8 à plus de 2 on peut alimenter les moules par l'intermédiaire d'une trémie.

• **Course maximum du plateau :** Pour les presses manuelles et mécaniques cette course ne peut être réglée. Le fait de ne pas descendre le levier jusqu'à sa butée, peut donner l'illusion de régler la course du plateau. En fait l'effort de compression maximale se produisant en fin de course, les briques produites de cette façon seront beaucoup moins résistantes que les autres. Sur les presses hydrauliques la hauteur de la course est facile à régler.

• **Dimension des blocs :** Nous donnons les dimensions des blocs standards. Il est à noter que des constructeurs ont prévu la possibilité d'utiliser plusieurs moules qui donnent des blocs, des briques et des tuiles de dimensions variées.

G. PRODUCTION

• **Nombre de blocs par jour :** Le chiffre que nous donnons correspond au nombre de blocs produits pendant une journée de 8 heures, cependant il varie énormément suivant l'organisation du chantier.

• **Volume compacté par jour :** Volume de terre compactée par jour en m^3.

• **Nombre d'ouvriers :** Ce nombre représente les ouvriers, qui assument l'alimentation en terre, la compression et l'évacuation des blocs. Il ne s'agit donc pas de toute la chaîne de production depuis l'extraction de la terre jusqu'au stockage.

• **Il y a quatre niveaux de production :**

– Faible : c'est le cas des presses manuelles dont le rendement varie en fonction de l'organisation du chantier. Il peut varier de 300 à 1200 blocs par jour.

– Moyenne : Les presses hydrauliques mobiles ont des productions de 2000 à 2800 blocs par jour. Elles commandent le rythme de production par une rotation automatique des moules.

– Elevée : Les presses mécaniques mobiles ont des productions élevées car elles sont faites pour mouler de la terre à l'état plastique. Cet état de consistance permet un compactage beaucoup plus rapide que le moulage avec une terre sèche.

– Très élevée : Des presses hydrauliques très sophistiquées, dérivées de la production industrielle des briques silico-calcaires, travaillent à des cadences de production très élevées. Ces presses demandent une infrastructure importante et un personnel très qualifié.

Notre Presse « La Palafitte »

(fig. 215)

Cette presse manuelle a été construite en un seul exemplaire en cherchant à regrouper les avantages de la Cinva-Ram et de la Tek-Block.

FABRICATION

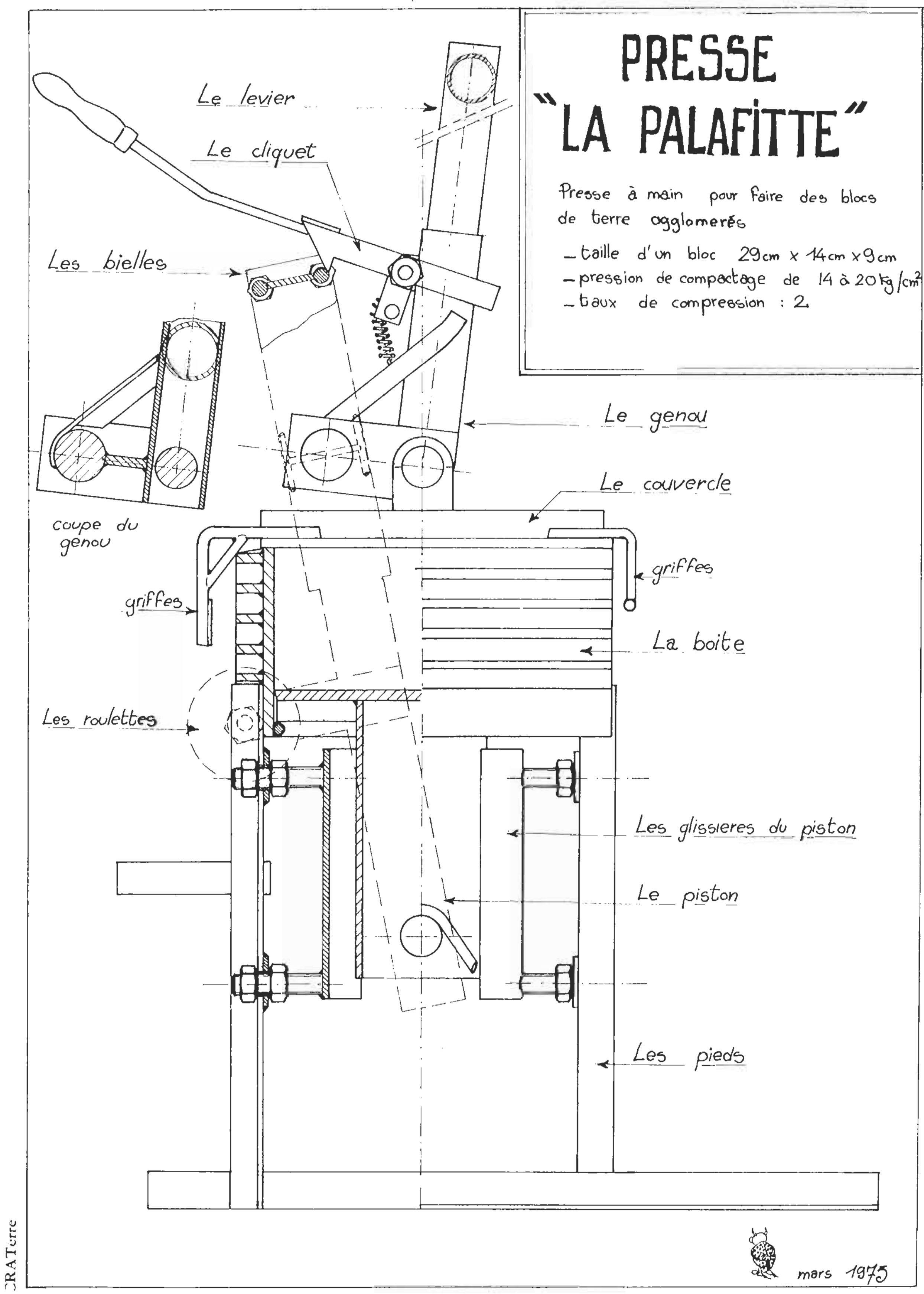
Nous avons construit la presse PALAFITTE en 1974 à l'Unité Pédagogique d'Architecture de Grenoble. Dans un premier temps, une maquette de la CINVA-RAM grandeur nature a été réalisée afin de mieux comprendre le système de compression et de démoulage. A partir de cette maquette nous avons décidé de relier le couvercle au levier pour automatiser l'ouverture et la fermeture de la presse.

La réalisation de cette presse nous a coûté 250 F. Toutes les découpes ont été faites à la main avec une scie à métaux. Un des problèmes de réalisation a été la déformation des deux grands côtés de la boîte et du plateau du piston pendant les soudures. En soudant les renforts du moule, les tôles se sont cintrées sous l'effet de la chaleur et nous avons eu des difficultés pour les redresser. Des tôles plus épaisses à ces endroits (12 mm au lieu de 8 mm) éviteraient tous ces renforts.

PRESSION

Il est assez difficile de déterminer la pression exercée par le piston car le rapport du bras de levier varie continuellement au fur et à mesure que l'on compresse.

Si on abaisse le levier jusqu'à l'horizontale pour compresser la terre, celui-ci remonte légèrement d'une dizaine de degré. Ce phénomène est dû à l'élasticité de la terre et à celle de la presse qui subit la pression mais reprend son volume l'instant d'après. On peut donc calculer la pression finale à un angle du levier de 80° à 70° ce qui donne une pression de 9,5 T à 4,4 T soit 23 à 10 kg/cm^2. On peut donc compter sur une pression moyenne de 16 à 17 kg/cm^2. Cette valeur est obtenue par un calcul théorique qui ne provient pas d'une « Mesure des forces ».


PRESSE
"LA PALAFITTE"
Presse à main pour faire des blocs de terre agglomerés
– taille d'un bloc 29cm x 14cm x 9cm
– pression de compactage de 14 à 20 kg/cm²
– taux de compression : 2
Le levier
Le cliquet
Les bielles
Le genou
coupe du genou
Le couvercle
griffes
griffes
La boite
Les roulettes
Les glissieres du piston
Le piston
Les pieds
mars 1975

CRATerre

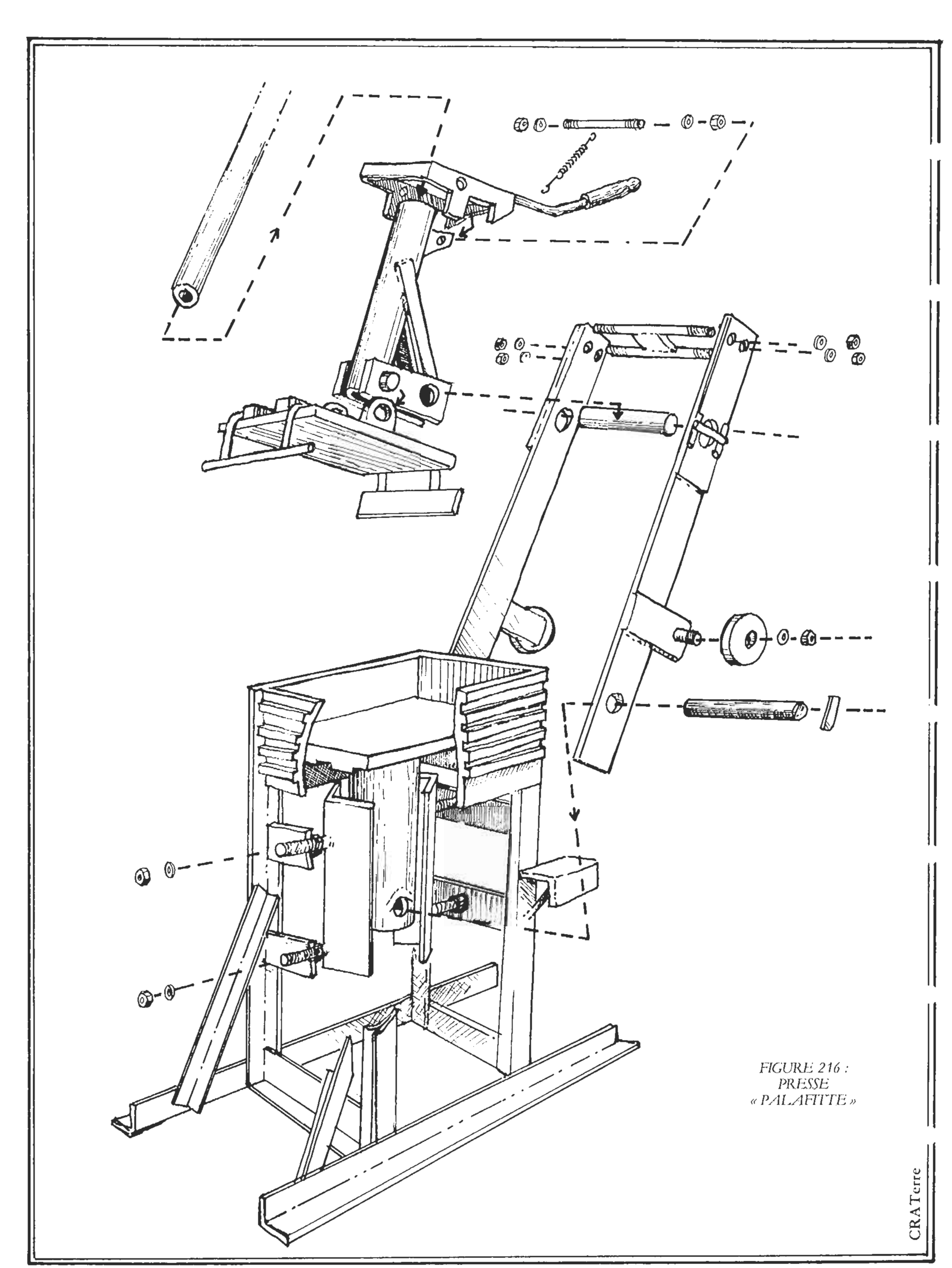


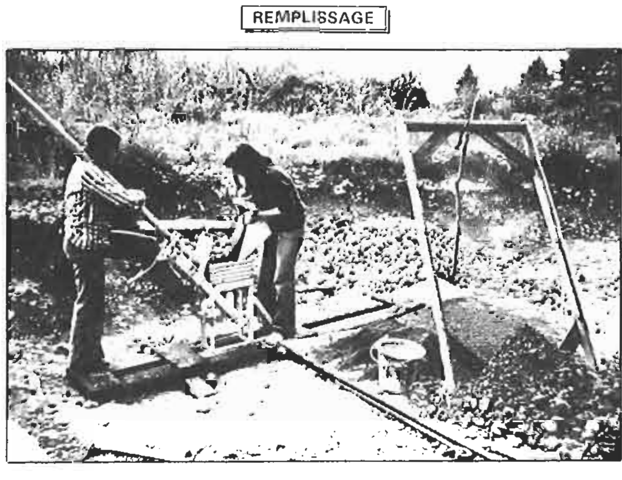
FIGURE 216 :
PRESSE
« PALAFITTE »

FIGURE 218 : FABRICATION DE BRIQUES A LA PRESSE (VIGNIEU - ISERE)

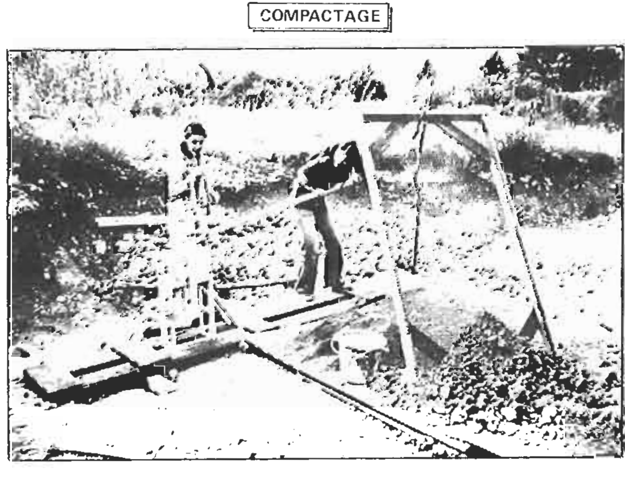
TAMISAGE



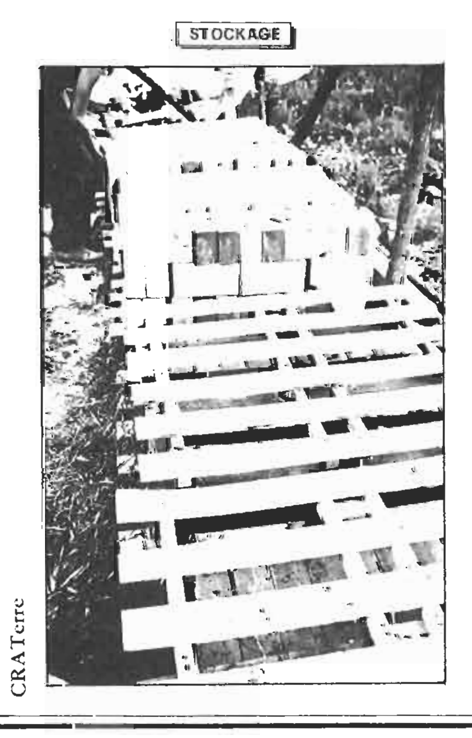
REMPLISSAGE



COMPACTAGE



STOCKAGE



DEMOULAGE

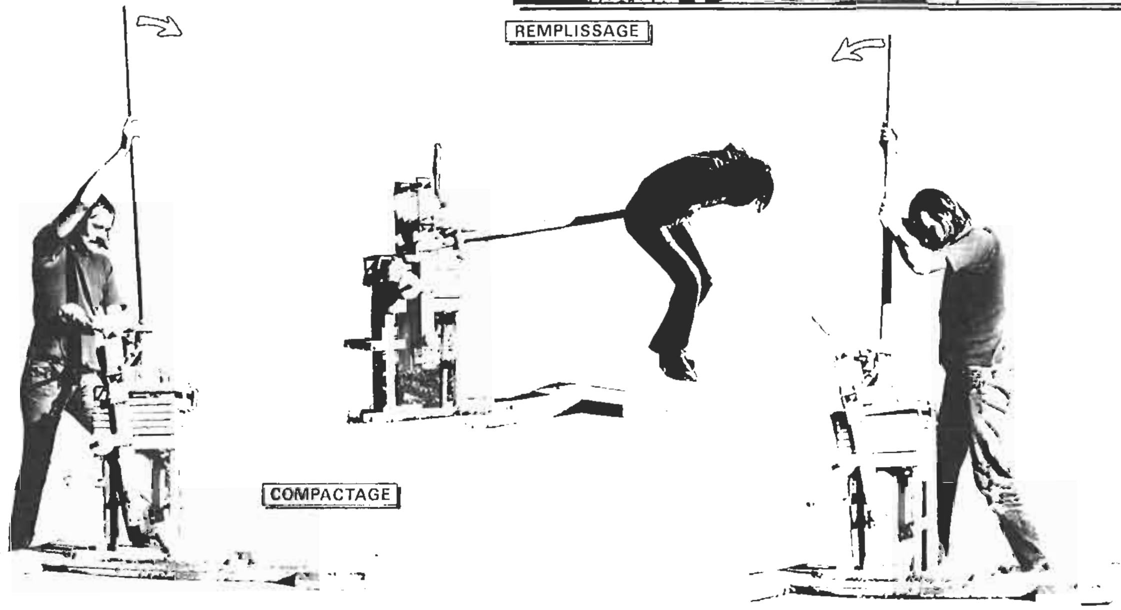


LA PALAFITTE

1ère BRIQUE



REMPLISSAGE



COMPACTAGE

DEMOULAGE



FABRICATION D'UN BLOC (fig. 217)

REMPLISSAGE

Pour la plupart des presses on doit introduire une quantité de terre précise dans le moule si on veut obtenir des blocs corrects. Pour cela, on peut utiliser une balance ou une pelle doseuse dont la capacité correspond à la quantité de terre à utiliser pour obtenir un bloc dense. C'est après avoir fabriqué plusieurs blocs à titre d'essais que l'on connaît cette quantité. La terre ne doit pas compter de graviers (supérieur à 5 mm) et la teneur en eau de la terre doit être la même que le pisé.

– Remarque : on ne peut réduire ni la longueur, ni la largeur des blocs. Seule l'épaisseur peut être diminuée en mettant une cale sur le plateau du moule.

COMPACTAGE

La qualité du compactage dépend de la quantité de terre mise dans le moule. Celle-ci sera correcte lorsque l'ouvrier pèsera de tout son poids sur l'extrémité du levier pour l'abaisser jusqu'à l'horizontal.

DEMOULAGE - SECHAGE

Le bloc fraîchement compacté doit être manipulé avec précaution. On le décolle du plateau en le faisant pivoter et on le transporte ensuite jusqu'à l'aire de séchage. Les briques stabilisées au ciment ou à la chaux doivent effectuer une cure humide d'une à deux semaines au miminum, pour permettre une bonne hydratation du liant. Il est donc préférable de les empiler serrées les unes contre les autres dans un endroit humide et chaud. Les briques stabilisées au bitume ou sans stabilisant peuvent être séchées plus rapidement comme les briques d'adobe.

MANIPULATION DE LA PRESSE

(COMMENTAIRE DE LA FIGURE 217)

1) MAINTENIR LE LEVIER EN POSITION « OUVERTURE DE COUVERCLE », LE PISTON RESTANT EN POSITION BASSE. REMPLIR LE MOULE A L'AIDE DE LA « PELLE DOSEUSE ».
2) AMENER LE LEVIER EN POSITION VERTICALE JUSQU'A CE QUE LE COUVERCLE VIENNE EN BUTEE SUR LE MOULE.
3) DEVEROUILLER LE CROCHET POUR DÉSOLIDARISER LE LEVIER DU COUVERCLE.
4) ABAISSER LE LEVIER JUSQU'A L'HORIZONTALE, LE PISTON REMONTE ET COMPACTE LE BLOC. SI LE MOULE EST CORRECTEMENT REMPLI, L'EFFORT POUR ABAISSER LE LEVIER EST EQUIVALENT AU POIDS D'UN HOMME.
5) RAMENER LE LEVIER A SA PREMIERE POSITION, LE LEVIER SE VEROUILLE AU COUVERCLE AUTOMATIQUEMENT AU PASSAGE.
6) ABAISSER LE LEVIER, LES BIELLES PRENNENT APPUI SUR LEURS ROULETTES ET LE BLOC SE DEMOULE.
7) RAMENER LE LEVIER EN POSITION 1...

FIGURE 222 :
PRESSE
TEK-BLOC
– REMPLISSAGE DU MOULE
– COMPRESSION
– DEMOULAGE

CRATerre

NOTRE SELECTION DES PRESSSES COMMERCIALES PARTICULIEREMENT INTERESSANTES

	Source d'énergie	Manuel							Hydraulique	
Dénomination	Nom	Cinva-Ram	Tek-Block	Ellson Blockmaster S	D	SB 1	SB2	SM Terstaram	MMH 2000	CLU 2000
Origine	Pays	Colombie	Haute Volta	Inde	Inde	Inde	Inde	Belgique	Belgique	Suisse
Caractéristiques Physiques	Dimensions (l, L, H) (cm)	20 x 50 x 60	40 x 50 x 75	40 x 69 x 90				75 x 160 x 100	100 x 300 x 150	150 x 325 x 162
	Poids net (kg)	63	97	145	155	165	175	280	1 350	1 550
	Moteur								Bernard 10 HP diesel	Hatz E 785 11 HP diesel
	Consommat. l/heure								2	2
Caractérist. commerciales	Prix (F.F.)	1000	2000	1400	1 500	1 600	1 650	4000	55000	70 000 (part. presse)
	Délais de livraison (mois)	de stock	de stock	de stock				3 mois	3 à 6 mois	3 à 6 mois
Caractérist. qualitatives	Pression en kg F/cm^2	7	5	7 à 25				20	40	20
	Taux de compression	1,63	1,34	(1,80)		(1,46)		1,65	~ 2	(1,6)
	Profond. max. du moule (mm)	145	175	131	131	158	158	145	175	120
	Course max. du plat. (mm)	55	45	50	50	50	50	39 + 18 = 57	88	45
	Dimens. des blocs standard (L x l x H)	29,3x14x8,9	29x29x13	22,7x10,6 x7,3	22,7x10,6x7,3 (x2)	30,5x14,6 x10,8	30,5x22,5 x10,8	29,5x14 x8,8	29,5x14 x8,8	25x12x7,5 (x2)
Production	Nombre de blocs par jour	425	425	425	850	425	425	425	2000	2000
	Vol. compacté par jour (m^3)	1,55	4,64	0,74	1,48	2,04	3,14	1,54	7,26	9
	Nombre d'ouvriers	4	4	3	3	4	4	4,30	3,10	4,60

Notre sélection des Presses commercialisées particulièrement intéressantes

CINVA-RAM

Cette presse manuelle a été mise au point à Bogota (Colombie) en 1952 par le « Inter America Housing and planning Center ». Elle est simple, robuste, économique et peut être construite par de petits artisans. Cette presse est très connue et très utilisée. Elle a donné naissance à des modèles basés sur le même principe **(fig. 219)**.

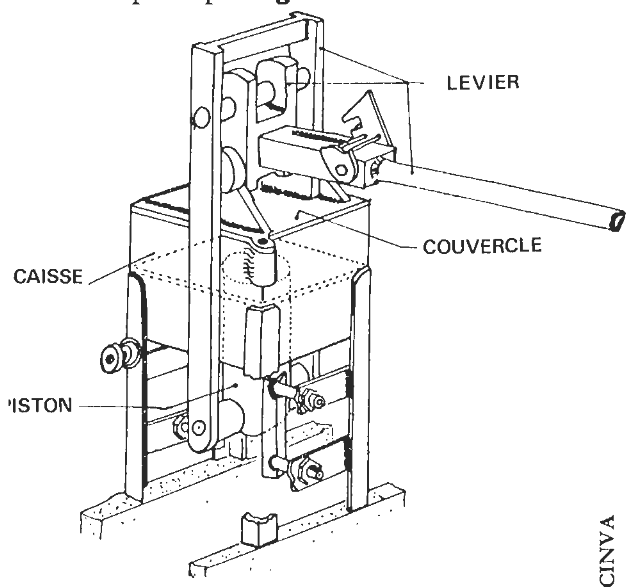


FIGURE 219 : LA PRESSE CINVA-RAM

Caisse : c'est un moule métallique rectangulaire formé de quatre tôles de 12 mm d'épaisseur monté sur quatre pieds. Il constitue l'armature de tout le mécanisme. Il est boulonné sur un socle qui lui assure sa stabilité **(fig. 220)**.

Couverture : deux couvercles différents ont été conçus, le premier se dégage du moule et vient se poser derrière la machine sur deux supports, le deuxième pivote autour d'un axe situé sur le côté du moule. C'est actuellement ce modèle qui est commercialisé **(fig. 220)**.

Levier : le levier se place dans deux encoches sur le couvercle. Il transmet son mouvement au piston par deux bielles. En position verticale, deux crochets se vérouillent sur une traverse ce qui rend solidaire l'ensemble, levier, bielles.

Le dévérouillage du crochet doit se faire à la main. L'espacement « **a** » des deux axes du levier détermine la course du piston et intervient dans le taux de compression. Le point B est un point faible à renforcer à l'achat de la machine. Il est conseillé de commander d'office deux jeux de roulettes de réserve « **c** » – Si on les fait soi-même, prendre de l'acier de qualité à 50 Rockwell.

Certains modèles sont livrés sans manche. On trouvera sur place un tube métallique de 2 mètres ; d'autres sont livrés avec un manche démontable en 3 pièces très pratique et bien conçu.

Piston : le piston est un cylindre surmonté d'un plateau rectangulaire. Il est guidé par deux cornières réglables (A). Il est possible de boulonner sur le plateau une pièce de bois pour réaliser des formes spéciales (blocs creux, rainures etc.).

TEK BLOCK

La Tek Block est une presse à main qui a été mise au point au Ghana par le Département de Recherche sur l'Habitat et la Planification*. C'est le même type de machine que la Cinva-Ram sauf l'ouverture et la fermeture du couvercle qui est automatique. La manipulation est plus aisée et peut accélérer le rythme de la production.

Le moule, le couvercle et le piston de compression sont en acier de 12 mm ainsi que tous les éléments actifs. Les rails et le levier sont en bois. La machine est livrée avec les rails, le levier, le tamis, les boîtes de mesures, le système d'essai et un livret

* Faculté d'Architecture – Université des Sciences et Technologie – Kumasi – Ghana.

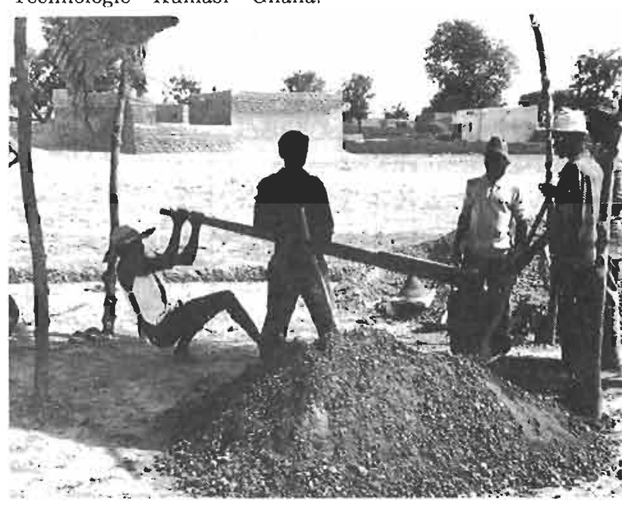


FIGURE 223 : FABRICATION DE BRIQUES AVEC UNE PRESSE TEK BLOC (HAUTE-VOLTA)

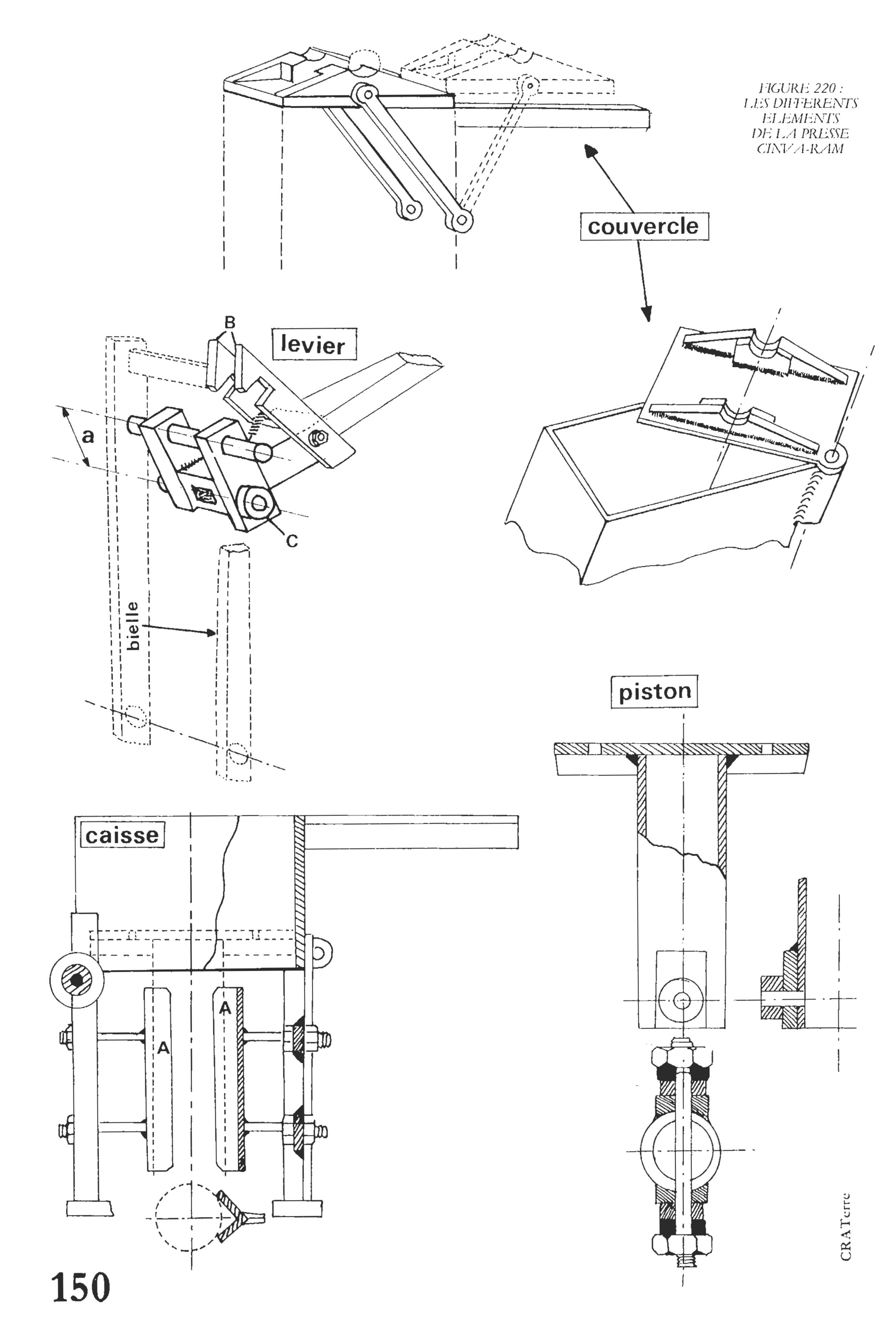
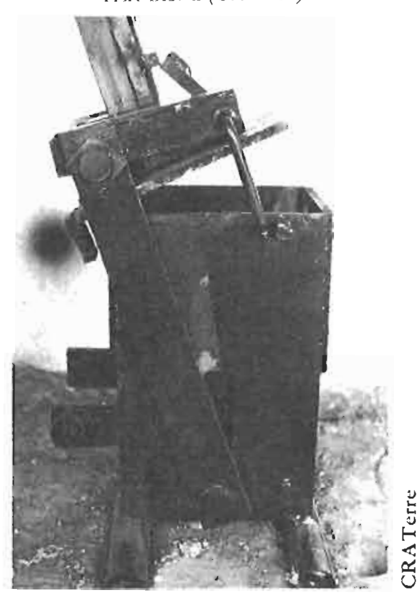


FIGURE 220 : LES DIFFERENTS ELEMENTS DE LA PRESSE CINVA-RAM

d'instruction **(fig. 221)**. Remarque : si elle est livrée par Kumasi de SAFI on ne reçoit que la presse.

FIGURE 221 : PRESSE TEK-BLOC (GHANA)



ELLSON BLOCKMASTER

C'est une presse manuelle, fabriquée en Inde. Il existe quatre modèles donnant des briques ou des blocs différents.

Description (fig. 225) :

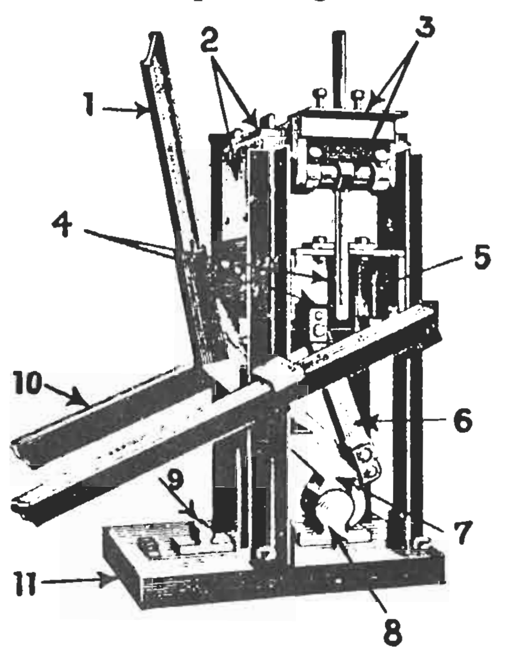


FIGURE 225 : LA PRESSE ELLSON BLOCKMASTER

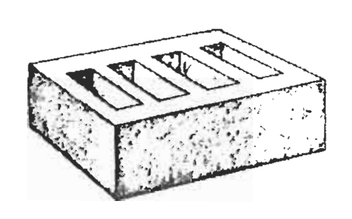
1. Le levier principal est glissé dans le logement de la pièce n° 7.
2. Moule et couvercle.
3. Fermeture et ouverture du couvercle comprenant une bride rabattable et un arbre excentré.

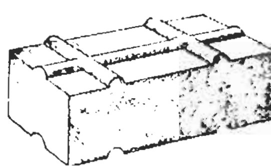
Manipulation :

Fermeture : le couvercle rabattu, relever la bride d'une main et en même temps le levier de l'arbre exentré de l'autre main. En tenant la bride en position, rabaisser l'arbre excentré à fond pour bloquer le couvercle.

Ouverture : Relever le levier de l'arbre excentré qui, alors, débloque la bride qu'il suffit de rabattre vers l'avant pour pouvoir dégager le couvercle.

4. Traverse du piston : deux traverses coulissent entre les glissières n° 5 pour guider le piston.
5. Glissières.
6. Bielle principale actionnant le piston.
7. Levier à griffe pivotant sur le pivot n°8 au moment de la compression. Quand le levier vient en buttée sur le deuxième pivot n° 9, la compression est terminée. On ouvre alors le couvercle et en abaissant toujours plus bas le levier, la griffe se dégage du pivot n° 8 et la brique se démoule.
8. Pivot de compression
9. Pivot de démoulage
10. Béquilles assurant la stabilité de la presse
11. Socle.





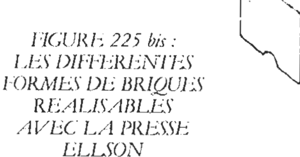
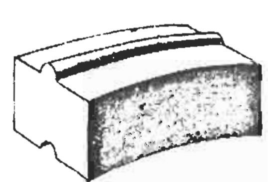


FIGURE 225 bis : LES DIFFERENTES FORMES DE BRIQUES REALISABLES AVEC LA PRESSE ELLSON BLOCKMASTER



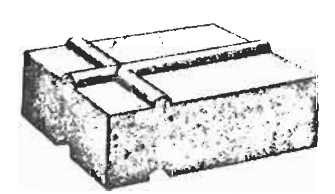
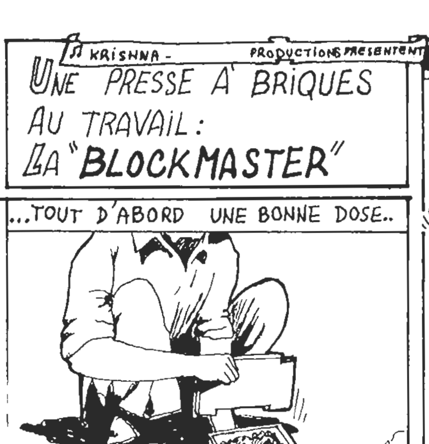
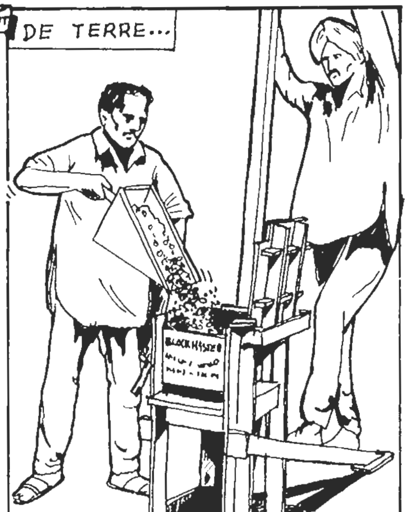
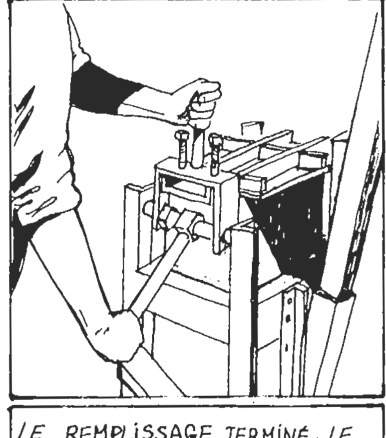
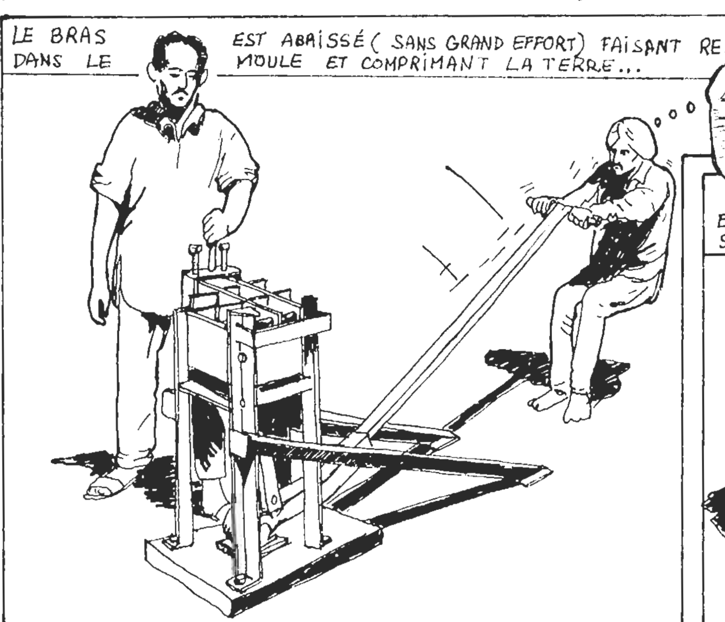


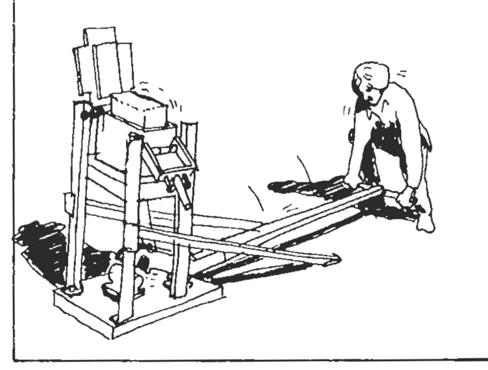
FIGURE 227

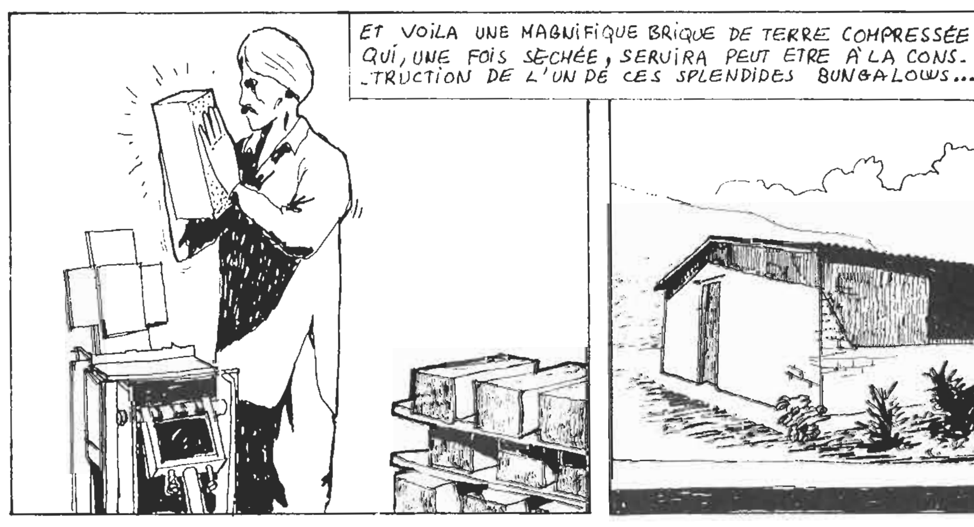


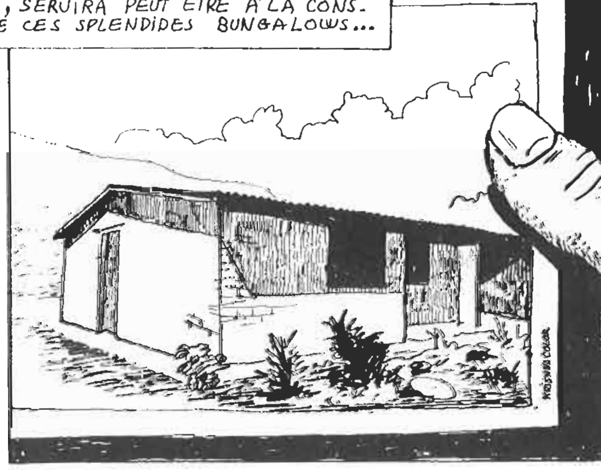












CRATerre

« TERSTARAM »

Cette presse à main **(fig. 228-229)** est parfois plus connue sous le nom « Landcrete » et « Stabibloc ». Elle fait en ce moment l'objet d'un certain nombre d'amélio-

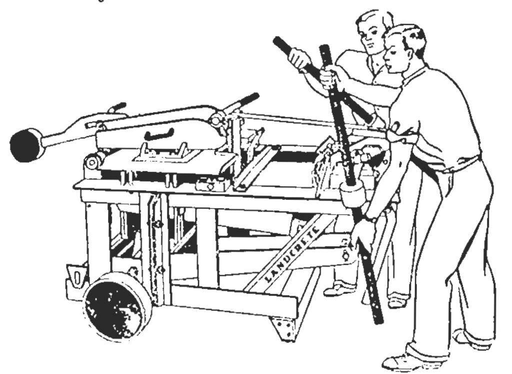


FIGURE 228 : PRESSE TERSTARAM (OU LANDCRETE). L'OUVRIER CHARGE DE REMPLIR LE MOULE ET D'ENLEVER LES BRIQUES AIDE AUSSI A LA COMPRESSION

rations, qui en font la meilleure presse manuelle disponible sur le marché.

Les avantages principaux sont :
– pression élevée,
– moules interchangeables,
– robustesse,
– coffre à outils,
– précompactage par couvercle rabattable.

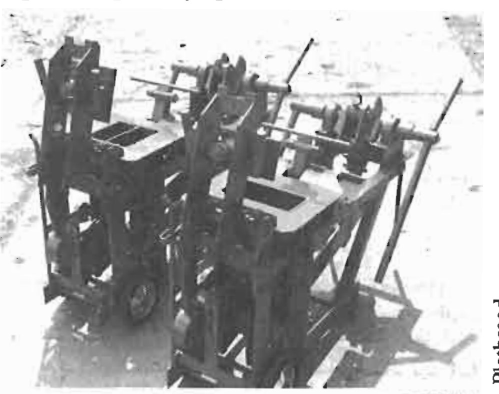


FIGURE 229 : PRESSE TERSTARAM. LA CHAINE EN S'ENROULANT AUTOUR DE L'ARBRE, FAIT REMONTER LE LEVIER QUI AGIT SUR LE PISTON.

C.L.U. 2000

L'originalité de cette presse hydraulique **(fig. 230)** à plateau tournant est qu'elle est équipée d'un malaxeur à axe horizontal de

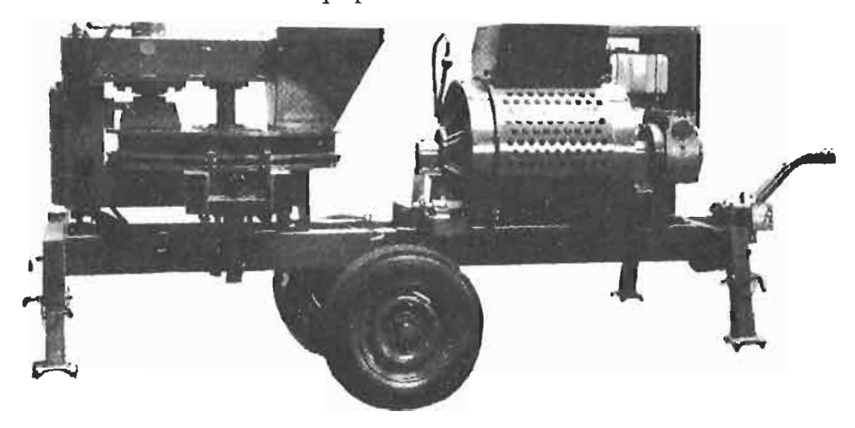
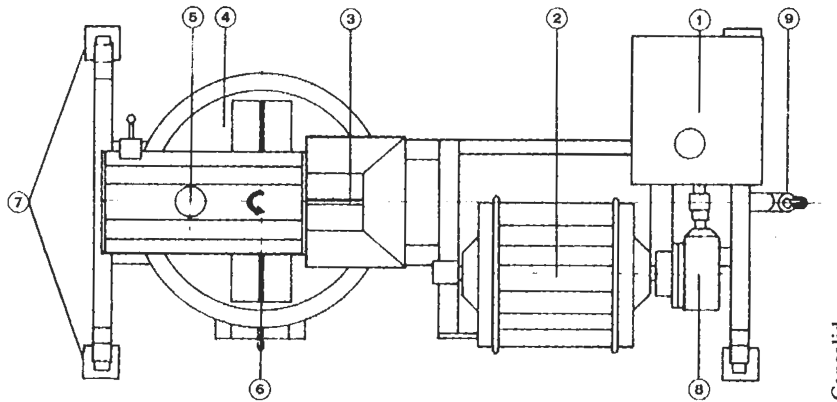


FIGURE 230 : PRESSE HYDRAULIQUE CLU 2000
1 – MOTEUR DIESEL
2 – MALAXEUR A PALETTES
3 – TREMIE DE REMPLISSAGE
4 – PLATEAU TOURNANT
5 – PRESSE HYDRAULIQUE
6 – DEMOULAGE
7 – PIEDS
8 – TRANSMISSION
9 – BARRE DE REMORQUAGE



140 l et est montée sur une remorque à pneu permettant de la déplacer facilement.

Cette presse est fabriquée en Allemagne et commercialisée par un vendeur suisse qui fournit également un produit de stabilisation dont nous parlons dans le chapitre stabilisation (consolid, conservex). Originale et attrayante, mais d'un prix élevé et d'une production faible, elle est d'une économie douteuse.

M.M.H. 2000

Cette presse hydraulique **(fig. 231)** a été fabriquée en 1976 pour une firme anglaise de produits chimiques. En Mauritanie, un prototype, la MMH 4000, a été testé par l'ADAUA pendant plus d'un an dans des conditions sévères. C'est grâce à ce prototype qu'une machine fiable, la MMH 2000 a pu être mise au point.

Principe : la machine est équipée d'un plateau tournant. Les trois opérations : remplissage, compactage et démoulage se font en un tour.

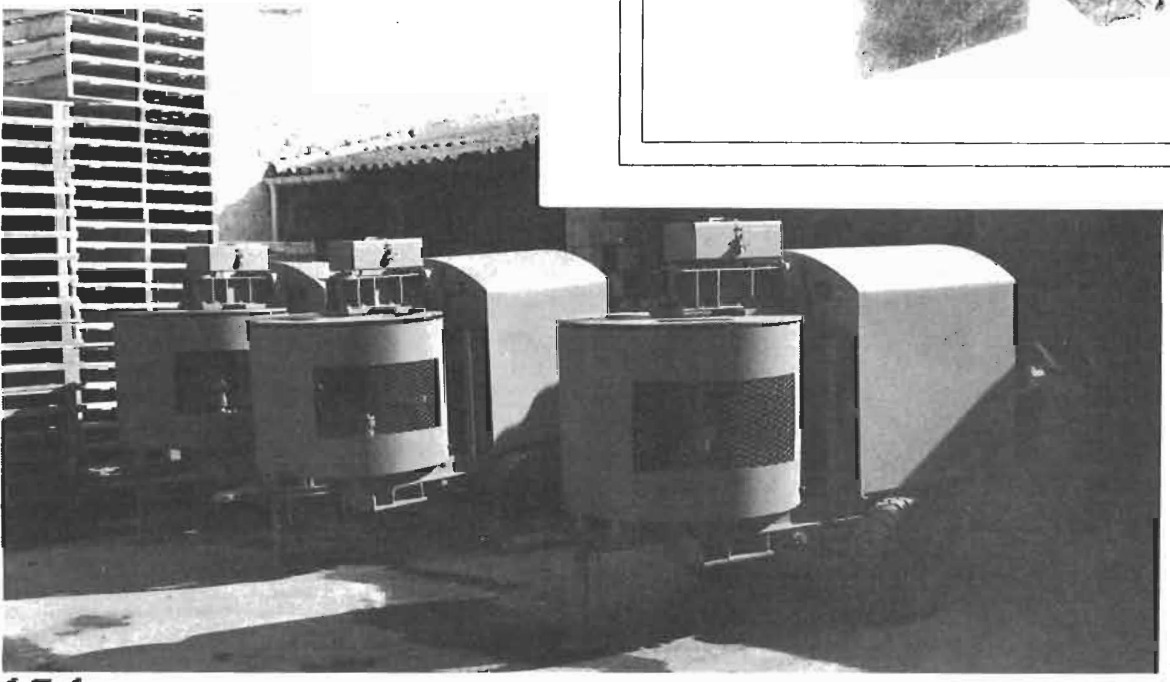
Remplissage : la terre est déposée à la pelle et remplit le premier moule.

Compactage : le plateau fait un tiers de tour, le moule vient se placer entre le piston et le tablier de compactage et la brique est compactée.

Démoulage : au tiers de tour suivant la brique est moulée.

Un tour complet a pris environ 40 secondes et 3 briques ont été moulées.

FIGURE 231 : PRESSES MMH 2000



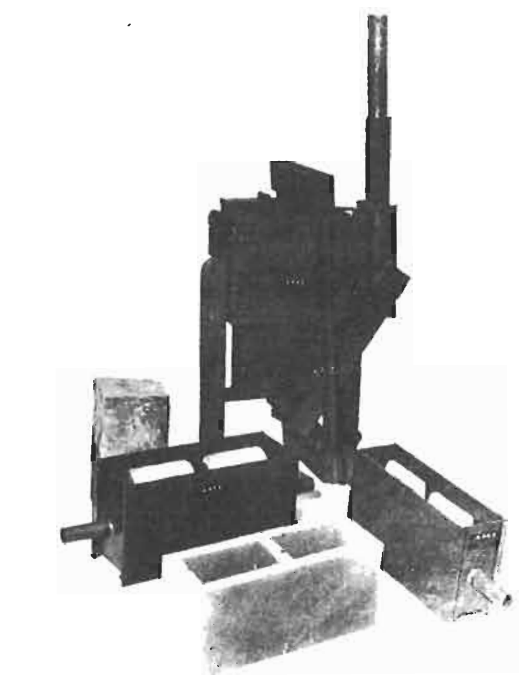
CRATerre



A.B.I.

CETTE PRESSE A UN TRES MAUVAIS MECANISME DE COMPACTAGE. ELLE A ETE CONÇUE POUR LA FABRICATION DES BLOCS DE CIMENT ET N'A PAS SUBIT DE TRANSFORMATION POUR SON EMPLOI EVENTUEL DANS LA PRODUCTION DE BLOCS EN BETON DE TERRE STABILISE **(fig. 232)**.

Figure 232 : presse à agglomérés de ciment A.B.I.



ABI

PRESSES COMMERCIALISEES

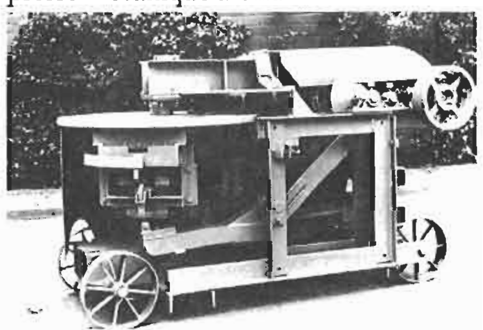
NOTE DU LBTP D'ABIDJAN (14-11-78)

« NOUS ATTIRONS VOTRE ATTENTION SUR LE FAIT QUE LA GEOMETRIE DE LA PRESSE A.B.I. NE PERMET UNE AMPLIFICATION DES EFFORTS QUE D'UN COEFFICIENT 12, CE QUI, COMPARE AU COEFFICIENT D'AMPLIFICATION SUPERIEUR A 150 DE LA PRESSE CINVA-RAM, DEVAIT CONDUIRE A DES COMPACTAGES TRES INSUFFISANTS. NATURELLEMENT, SI ON EFFECTUE UN PRECOMPACTAGE MANUEL IMPORTANT, ON PARVIENT QUAND MEME A PRODUIRE DES BLOCS D'UNE CERTAINE QUALITE. »

HALLUMECA

NOUS N'AVONS PAS EU L'OCCASION DE NOUS FAMILIARISER AVEC CETTE PRESSE ET NOUS MANQUONS D'INFORMATION A SON SUJET **(fig. 233)**. C'EST UNE PRESSE MECANIQUE QUI A DES POTENTIALITES POUR ETRE FACILEMENT ADAPTABLE A LA PRODUCTION DE BLOCS EN TERRE.

Figure 233 : presse mécanique Hallumeca

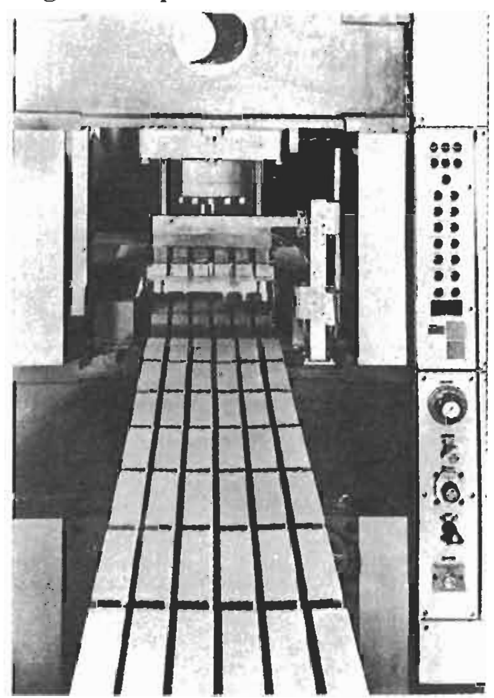


Hallumeca

DROSTHOLM L3

CETTE PRESSE EST VENDUE AVEC UN PROCEDE DE STABILISATION (LATOREX) ET EST INCORPORÉE DANS UNE CHAINE DE PRODUCTION D'UNE USINE, DEUX EXEMPLAIRES ONT ÉTÉ INSTALLES MAIS N'ONT PAS CONNU UN GRAND SUCCES **(fig. 234)**.

Figure 234 : presse Drostholm L3

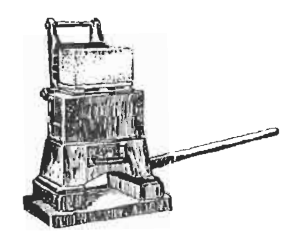


Drostholm

PRODUCTIVITE DES PRESSES DISPONIBLES						
Production	Type de presse	Production journalière (blocs)	Prix d'achat sortie d'usine (F.F.)	Poids net (kg)	Pressions exercées sur la matière (kg F/cm^2)	Presses disponibles
Faible	manuel	300 à 1200	1000 à 4000	63 à 290	7 à 20	– ABI – TEKBLOCK – CINVA RAM – ELLSON BLOCKMASTER SM et TERSTARAM
Moyenne	Hydraulique	2000 à 2800	45000 à 70000	1500	20 à 40	– MMH 2000 – CLU 2000
Elevée	Mécanique	8000 à 16000	35000 à 65000	1500		– HALLUMECA B 75, B 100, B 150, B 200
Très élevée	Hydraulique	10000 à 72000	200000 à 9000000	10000 à 16000	20 à 60	– DROSTHOLM L 3

LE MUSEE DES PRESSES

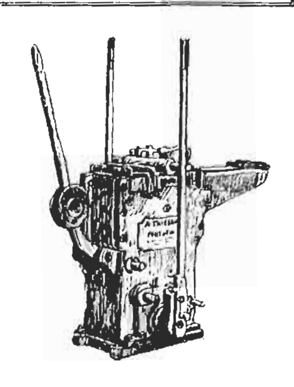
MACHINE A BRAS N° 1



Le mélange est tassé par pilonnage a l'aide d'un couvercle lourd qui évite ainsi une partie du pilonnage à la pilette.
Démoulage par fond de moule montant.
Permet la fabrication d'un parpaing à la fois.

Matériel Bonnet.

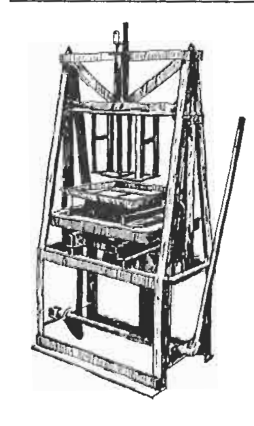
PRESSE PM A BRAS



Presse à simple compression directe donnée par un arbre coudé et une bielle qui soulève le piston de compression.
Deux leviers transmettent le mouvement à l'arbre coudé. Un levier de démoulage permet l'éjection du parpaing.
Deux ouvriers, un parpaing à la fois.
Pression : 10 à 15 Kg/cm²
Moule : 20 x 20 x 40

Matériel Thiebault.

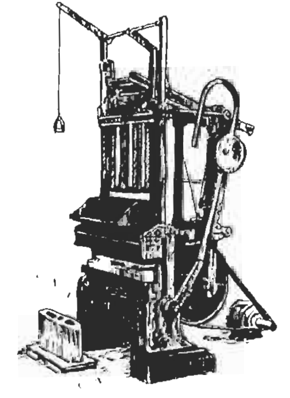
PRESSE RAPIDE N° 5



Pilonneuse à bras avec ressorts de rappel
Main d'œuvre 1 ou 2 ouvriers
Poids de la presse équipée d'un ou deux moules et pilon, en caisse 345 Kg

Matériel société franco-alsacienne.

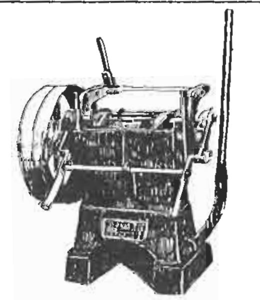
MACHINE HOURDA TYPE C



Pilonneuse à moteur. La frappe est basée sur le principe du petit marteau pilon (courroie de friction et volant d'entraînement).
Cette frappe est sèche.
Remplissage des moules en deux ou trois fois, et pilonnages successifs.
Démoulage par montée des moules
Dimension maxima des produits. 70x30x25
Puissance nécessaire : 2cv. 1/2
Poids sous emballage maritime : 1.850 Kg

Matériel Bonnet.

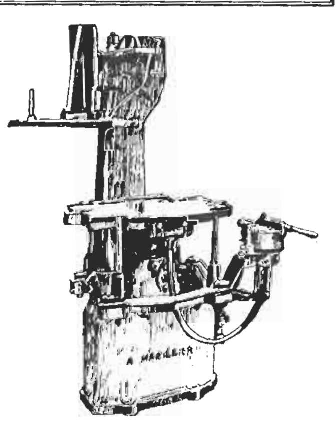
DAMETTE N° 1



Machine a agglomérer à moteur.
Compactage assuré par un pilon de 90 Kgs actionné par came ; un parpaing à la fois.
Puissance nécessaire : 2 cv.
Poids sous emballage maritime : 1000 Kg

Matériel Bonnet.

MACHINE PNEUMATIQUE TYPE 810

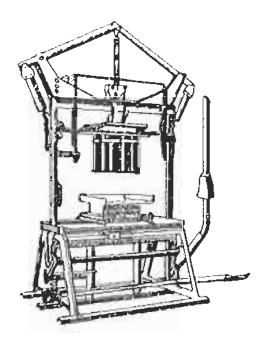


Ce genre de machines, utilisé pour la fabrication de moule de fonderie, doit convenir pour le compactage de la terre, si l'on dispose d'un compresseur. La table fait corps avec un piston de 16 cm de diamètre, actionné à l'air comprimé à 6-7 Kg. A l'intérieur du piston, une masse mobile peut compléter l'action de ce dernier en frappant le dessous de la table à une cadence atteignant 800 coups minutes.
En haut, le contre-plateau est fixe dans le sens vertical et éclipsable latéralement
Puissance absorbée au compresseur : 5 cv.
Poids : 400 Kg

Matériel Marillier.

Voici des exemples de presses qui n'existent plus sur le marché .... mais qui peuvent donner quelques idées ....!!

PILONNEUSE A BRAS TYPE PBB



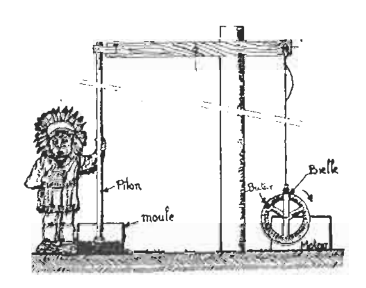
Pilonneuse à bras avec ressorts de rappel
Main d'oeuvre 1 ou 2 ouvriers
Poids net 500 Kg
Matériel Bonnet

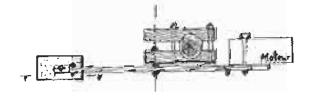
PILON GUIDE SYSTEME D



La frappe est basée sur le principe du marteau pilon guidé entre deux cornières
Moule 30 x 15 x 25
Extrait des Sélections du Système D n° 23

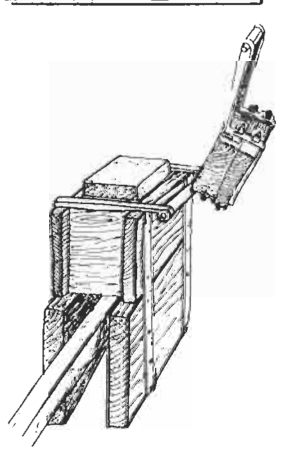
PILON GUIDE CANADA





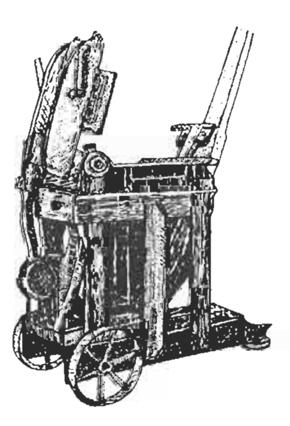
L'opérateur guide le pilon pour parcourir toute la surface du moule remplit de terre. Le pilon frappe 75 coups par minute. Il faut environ 4 minutes pour réaliser un bloc.
University of Saskatchewan - Saskatoom Saskatchewan

PRESSE EN BOIS



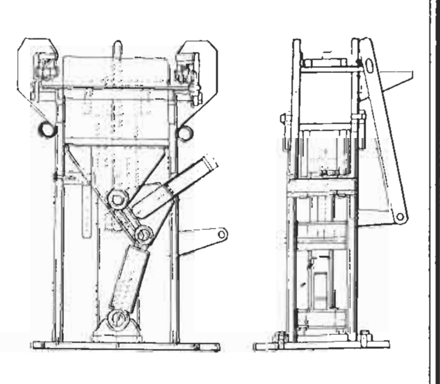
Conçue par le BIT de Dakar et employée en Afrique occidentale.

HERCULEENNE



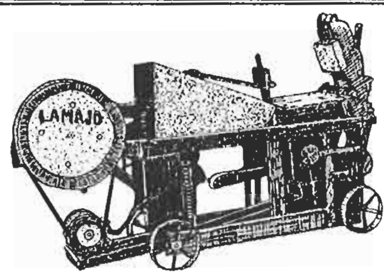
Presse à bras en acier soudé qui était livrée avec des moules permettant de fabriquer des briques de 220 x 107 x 70 mm, d'autres formats étaient disponibles et il existait également des moules permettant de fabriquer des carreaux, des tuiles, des demi-tuyaux... C'est l'ancêtre de la S.M., Landcrete, Terstaram... Villers Perwin.

PRESSE CURER



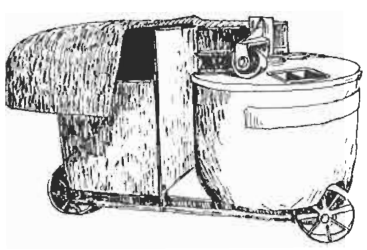
Presse Curer conçue à l'Université de Constantine. Algérie.
Prototype. Dimension (l x L x h) 38 x 48 x 75 cm
Poids net : 100 Kg - Pression en Kg F/cm² : 10 à 20
Taux de compression : 1,28 - Profondeur maxi du moule : 120 mm - course maxi du plateau : 30 mm. Dimension des briques 25 x 12 x 9,8. Production par jour : 300
Nombre d'ouvrier : 2

LA MAJO



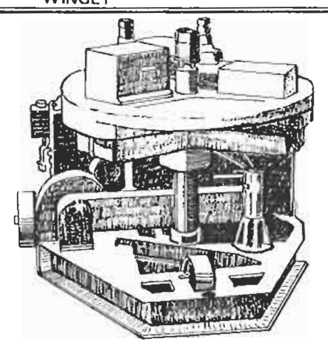
Presse mécanique à moteur éffectuant l'opération pressage et démoulage en 2,5 secondes, la production est donc en rapport avec le temps mis pour le remplissage des moules et l'enlèvement des briques Dimension : (l x L x H) 66 x 200 x 108 cm Poids net 720 Kg . Moteur à Essence ou électrique Taux de compression : 1,65 - Briques 29,5 x 14 x 8,8 cm Production par jour . 9.600 - Profondeur max du moule : 145 mm - Course max. du plateau 58 mm Matériel Villers Perwin

LA MAJOMATIC



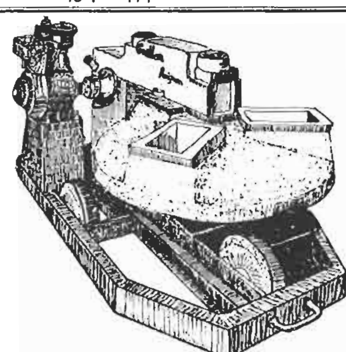
Presse mécanique à plateau tournant avec remplissage compression et éjection synchronisés . Dimension : (l x L x h) 66 x 200 x 120 cm . Poids net · 1500 Kg Moteur : Essence 3 cv 1l/h - Diesel · 5,5 cv 1,5 l/h Taux de compression 1,6 - Briques : 30 x 23,5 x 8 cm Production par jour : 4000 . Profondeur maxi du moule : 128 mm - Course maxi du plateau : 48 mm - Nombre d'ouvriers 3 . Matériel Villers Perwin.
Similaire à la presse HALLUMECA.

WINGET



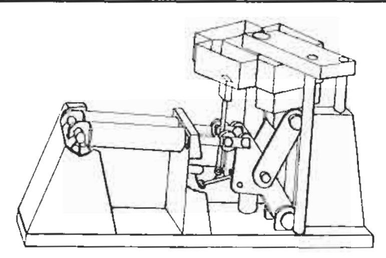
Presse hydraulique à plateau tournant avec remplissage compression et démoulage synchronisés . Poids net : 1800 Kg
Moteur à essence - Pression en Kg F/cm² : 75
Dimension des briques 30 x 15 x 10 cm - Nombre de briques par jour : 1.120
Matériel : Winget works . Rochester - ME 2 4AA - G.B.

10 P 11 P



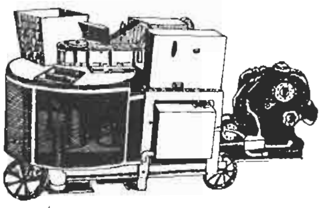
Presse hydraulique à plateau tournant avec remplissage compression et démoulage synchronisés . Poids net : 1800 Kg
Moteur à Essence - Pression en Kg F/cm² : 75
Dimension des briques : 30 x 15 x 10 cm . Nombre de briques par jour : 1.120
Matériel Guilhon Barthelemy 18 Rte de Montfavet. 84. Avignon
Le même type que la presse Winget.
Un seul exemplaire construit.

POWER TEK BLOCK



Presse hydraulique à plateau tournant avec remplissage compression et démoulage synchronisé .
Dimension (l x L x h) 56 x 113 x 56 -
Pression en Kg F/cm² : 24 . Dimension des briques · 30 x 22 x 15 cm
Production . 2.000 jour . Prototype de la faculté d'Architecture UST KUMASI

MMH 4000



Presse hydraulique à plateau tournant avec remplissage compression et démoulage synchronisés . Dimension : (l x L x h) 100 x 230 x 150 cm . Poids net · 1.200 Kg
Moteur diesel Bernard 20 CV
Taux de compression · 2,8 - Profondeur maxi du moule 225 mm - Course maxi du plateau · 120 mm .
Dimension des briques : 29,5 x 14 x 8,8 cm - Production : 4000 jour
Matériel Villers Perwin - 1 seul prototype construit.

Un projet de briquetterie à Rosso (Mauritanie)

En illustration à cette technique, nous avons demandé à l'ADAUA, institution africaine d'assistance en matière d'habitat, de présenter le projet entrepris à Rosso en milieu bidonville, sur le vaste programme d'habitat populaire et d'animation urbaine avec la population de Satara **(fig. 238-39-40).**

FIGURE 238 : CHANTIER DE ROSSO (MAURITANIE)

ADAUA

Objectifs développés :

– Utilisation de matériaux locaux améliorés, économiquement accessibles aux plus démunis, et supprimant la dépendance à l'égard des matériaux importés et inadéquats.
– Formation de la main d'œuvre sur ces nouvelles techniques.
– Création d'emplois lors de la construction des programmes d'habitat populaire, avec mise sur pied de coopératives de maçons et d'artisans.
– Création d'unités de production (briquetteries), avec formation de la main-d'œuvre.
– Diffusion aux populations concernées, notamment autour d'une caisse populaire, des techniques d'amélioration de l'habitat par l'autoconstruction assistée.

Les études, recherches et réalisations techniques nouvelles entreprises par le collectif d'ateliers mis en place, spécialement par l'atelier matériaux, ont abouti à :
– La création d'une briqueterie à froid, utilisant les matériaux terreux du pays avec stabilisants. Inutile de dire que ces matériaux de qualité supérieure répondent aux conditions économiques, sociales et climatiques des lieux et que leur prix de revient est nettement inférieur à celui des produits inadaptés d'importation.
– L'utilisation des techniques nouvelles reprises des vieilles techniques de construction de l'habitat soudano-sahélien : voûtes et coupoles.

L'atelier des matériaux locaux

Il est composé de deux ingénieurs africains et d'un technicien en formation. Le problème qui s'est posé d'emblée a été la recherche de terres et la composition de mélange argile/sable et eau de la première brique répondant à certaines normes. Une pondeuse de briques manuelle, CINVARAM, permet la fabrication de briques compactées. Une S.M. également manuelle, a permis la fabrication de briques pleines stabilisées de qualité, et de briques creuses pour les essais au sol des premières voûtes, arcs et coupoles.

Une presse hydraulique prototype MMH 4000 permet la fabrication de 4000 blocs/jour, stabilisés avec une forte compression. Cette presse a permis de développer des presses robustes et fiables, les MMH 2000.

Le laboratoire est installé et un manipulateur est en formation pour l'analyse des terres, les essais de compression et la surveillance des mélanges provenant des diverses carrières.

EN RESUME : *L'équipe possède un savoir-faire au niveau de la construction, notamment voûtes, coupoles et arcs. La stabilisation et les machines à briques donnent d'excellents résultats. Les briques actuelles coûtent environ moitié prix et sont d'une qualité et d'un fini supérieur aux briques de ciment actuellement employées en Mauritanie. L'eau n'a plus aucune action destructrice sur ce matériau. Les essais d'isolation donnent l'assurance d'un confort thermique compatible au climat de la zone.*

Sont actuellement à l'étude :

1) Stabilisation des produits naturels et locaux,
2) Enduits et peintures,
3) Briques stabilisées et perforées (essais de résistance des coupoles et des voûtes).



◄ FIGURE 240 : CHANTIER DE ROSSO

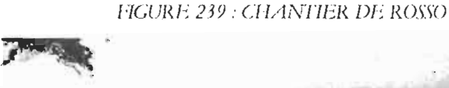


FIGURE 239 : CHANTIER DE ROSSO ▼



PUBLICATIONS ADAUA

– **Habitat populaire en République Islamique de Mauritanie,** *1975. Epuisé.*

– **Programme d'habitat populaire à Rosso (RIM), chantier d'essais.** *Objectifs, déroulement du chantier, matériaux, fabrication de briques et formation, mise en œuvre, formation sur le chantier. Rosso, le 28 octobre 1977. Français-anglais.*

– **Dossier presses.** *En cours de réimpression.*

– **Dossier malaxeurs.** *En cours de réimpression.*

– **Projet d'habitat populaire en Mauritanie,** *l'urbanisation de la zone Satara, à Rosso. Français-anglais. Rosso, avril 1978. Illustrations, photos, plans.*

- **Introduction :** *objectifs et démarches de l'ADAUA*
- **Chapitre 1 :** *analyse de la ville de Rosso*
- **Chapitre 2 :** *proposition pour l'urbanisation de la zone Satara.*

Ces ouvrages sont disponibles au Secrétariat de l'ADAUA, route de Ferney, 1202, Genève.

CONSTRUIRE EN PISE, EN ADOBE OU EN BRIQUES COMPRESSEES

Le choix d'un type de mise en œuvre dépend d'une quantité de données d'ordre technologiques, économiques, climatiques, ou culturelles. Etablir des critères de choix demande une bonne connaissance de tous ces facteurs et de leurs interactions. Nous n'essayons pas ici de donner un schéma fini du processus de décision, mais d'apporter des éléments qui permettent de mieux situer le problème. Nous ne traiterons ici que des trois techniques, le pisé, l'adobe et les briques compressées en ne faisant intervenir que des critères technologiques : temps de mise en œuvre, performance du matériau obtenu, et difficulté de réalisation.

La terre : si la terre disponible autour de la maison est correcte, le problème est facile à résoudre. Rappelons toutefois, qu'une terre comportant des graviers et des cailloux devra être tamisée pour fabriquer des adobes ou des briques compressées, alors qu'elle peut être utilisée telle quelle pour le pisé. Si, pour diverses raisons, la terre du site n'est pas disponible, il faut envisager son transport. Ce problème se pose d'une manière différente selon le contexte économique régional. En France, le transport quoique coûteux est envisageable. En effet, tous les matériaux de construction classiques sont transportés, en général sur des distances d'au moins 10 à 30 km ; que ce soient les graviers et les sables pour le béton, ou l'argile à brique. Dans certains cas, il peut être même intéressant de profiter d'une terre déjà extraite, qu'il suffit de faire venir : chantiers routiers, terrassements, etc.

Le choix d'une technique de

FIGURE 224 : REALISATION EN BRIQUES DE TERRE COMPRESSEES A CISSIN, OUAGADOUGOU (HAUTE-VOLTA)





Marcel DEMUNYNCK

construction se pose maintenant selon les performances mécaniques recherchées. Le tableau suivant présente les résultats d'une expérimentation sur différents murs de terre (réf. 26).

TYPE DE MUR	COMPRESSION (kg/cm^2)	FLEXION (a) (kg/cm^2 de section de mur)	POINÇONNEMENT (b) (kg)
Terre non stabilisée			
ADOBE maçonné au mortier 1	6,84	0,03	450
PISE masse volumique 2 kg/dm^3	6,16	0,028	450
Terre stabilisée			
ADOBE stabilisée à 5,6% d'émulsion de bitume mortier (1)	5,5	0,04	450
PISE stabilisé au ciment	45,73	0,05	450
BRIQUES COMPRESSEES stabilisées au ciment mortier (1)	57,05	0,05	450

(1) Mortier : **mortier maigre bâtard, dosé à 200 kg de ciment et 125 kg de chaux hydraulique par m^3 de sable.**
(a) Flexion : **le mur est appuyé sur deux poutres horizontales, en haut et en bas du mur. La charge est horizontale, et répartie sur deux tubes métalliques horizontaux espacés de 1,20 m. Dans les murs de briques, la rupture se produit au niveau des joints.**
(b) Poinçonnement : **La charge est appliquée horizontalement sur l'extrémité d'un cylindre de 2,5 cm de de diamètre, placé au centre d'une brique.**

Murs : – en brique h : 2,45 m ; 1 : 1,2 m ; épaisseur : 0,3 m
– en pisé : : 2,45 m ; 1 : 2,4 ; épaisseur : 0,35 m
Adobes (stabilisés ou non) : – Dimensions : 39 × 30 × 12 cm
– résistance en compression (sur une brique entière) : 35 à 44 Kg/cm^2
Briques compressées : – dimensions : 30 × 26 × 21 cm
– résistance en compression (sur une brique entière) : 110 Kg/cm^2

Les chiffres donnés sur ce tableau sont surtout intéressants à comparer entre eux ; leur valeur absolue n'est à considérer qu'à titre indicatif.

Une première constatation s'impose : les résistances des murs non stabilisés en pisé et en adobe sont équivalentes. Seul, l'apport de ciment augmente la résistance en compression et en flexion, le bitume a même tendance à affaiblir les murs. La question à résoudre est donc la suivante : faut-il renforcer le matériau par un produit stabilisant (ciment, chaux, etc.) ? D'après les recommandations officielles, la résistance de tous ces murs est suffisante pour une construction d'un seul niveau, en murs de 40 cm d'épaisseur. D'autre part, des essais ont été faits sur ces mêmes murs pour mesurer l'imperméabilité, c'est-à-dire leur résistance à la pluie.

Pisé stabilisé au ciment **Adobe stabilisé au bitume**	**bon**
Briques compressées stabilisées **Adobe** **Pisé**	**médiocre**

NOTE : Dans cette expérimentation, le mortier paraît beaucoup trop maigre pour la résistance des briques.

Il semble donc que seule la stabilisation apporte une réponse satisfaisante aux dégradations de la pluie. Mais il ne faut quand même pas oublier toutes les maisons en terre seule de Bretagne ou du Dauphiné, parfois vieilles de plusieurs siècles.

Reste la question des temps de mise en œuvre, qui diffèrent beaucoup selon la technique utilisée. Le tableau suivant compare les surfaces de mur réalisables en une journée par une personne (extraction de la terre non comprise) :

	Pisé (d)	Adobe (e)	Briques compressées (f)
Surface de mur en m^2 (c) réalisable par une personne en une journée – en terre non stabilisée	3	2,1	1,5
– en terre stabilisée	2,5	2,0	1,2
Matériel minimum souhaitable	– banche – dame à main	– tamis – moule – malaxeur éventuel	– tamis – presse à briques
Nombre minimum de personnes sur le chantier	2 à 3	1	2
Difficulté Savoir-faire	difficile	moyen	assez facile

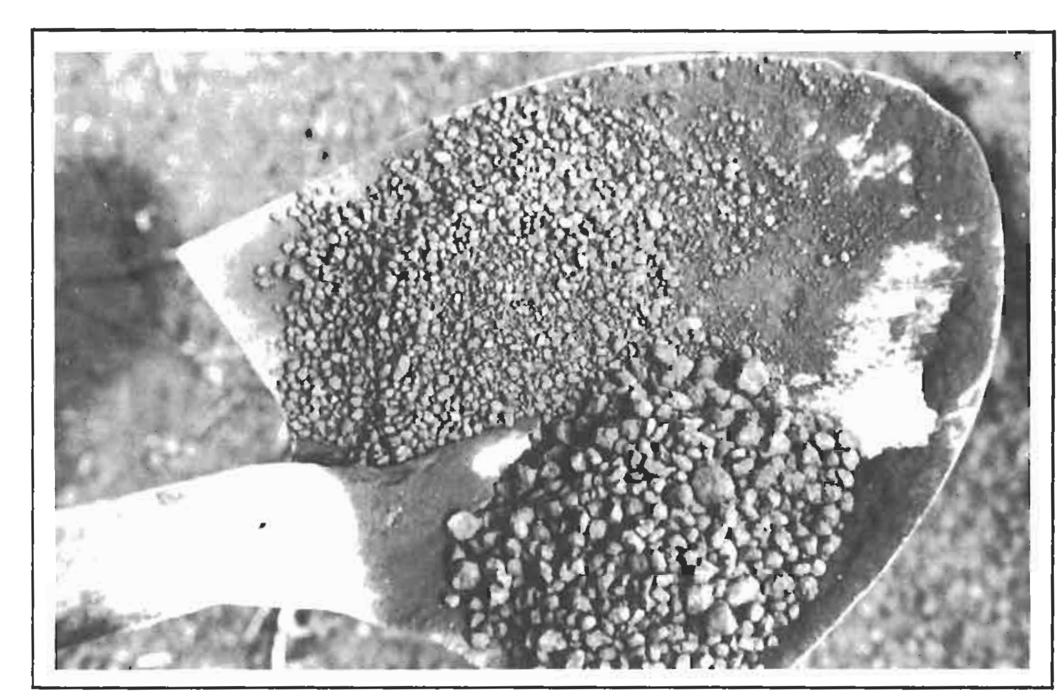
(c) murs : de 40 cm d'épaisseur
(d) pisé : pose de la banche, remplissage et damage, démoulage
(e) adobe : tamisage, malaxage, moulage, élévation du mur
(f) briques compressées : tamisage, fabrication des briques, élévation du mur.

Les chiffres mentionnés ont été établis à partir de rendements de spécialistes, et peuvent varier de 1 à 5 entre ceux d'une main d'œuvre d'« amateurs » ou de professionnels de la construction. Le pisé apparaît ainsi comme le procédé le plus rapide, mais il faut lui mettre en balance le dernier point du tableau : difficulté et savoir-faire.

Le pisé, en effet, demande une bonne maîtrise de la construction : plans précis, bonne coordination de l'équipe, précision dans l'installation des banches, etc. Les constructions en maçonnerie, par contre, permettent un contrôle permanent au niveau de la fabrication des briques ou de l'élévation des murs, la possibilité à tout moment de « rectifier les erreurs », et en fin de compte une plus grande liberté dans la conception.

Il y a bien sûr quantité d'autres facteurs à faire intervenir : possibilité de répartir le travail tout au long de l'année, temps de séchage, nombre de personne disponibles, complexité du bâtiment à construire, etc.

Quelle que soit la technologie retenue, l'important est de définir des solutions simples, et de réaliser une construction durable et de qualité.



L.B.T.P. Abidjan

5. ANALYSE DES SOLS

La première préoccupation d'un constructeur est de déterminer si un sol donné convient à tel ou tel mode de construction.

Le propos de ce chapitre est donc d'indiquer les moyens dont chacun peut disposer pour reconnaître un sol. Ils consistent soit en analyses de sol qui, après prélèvements, s'effectuent en laboratoire, soit en essais d'identification faciles à réaliser et qui donnent une idée suffisante de la qualité du sol que l'on se propose d'utiliser.

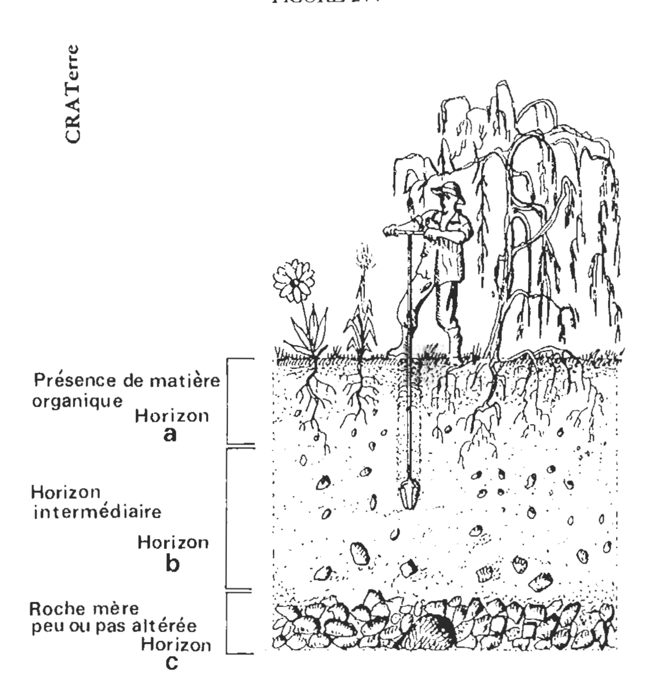
Nous traiterons tout d'abord de la constitution du sol, puis nous donnerons les méthodes d'analyse habituellement utilisées par les laboratoires et terminerons par les essais réalisables sur le terrain.

I. Constitution du sol

La partie superficielle de la croûte terrestre provient le plus souvent de l'altération mécanique et chimique des roches sous l'action des phénomènes climatiques et des organismes vivants. D'épaisseur très variable, elle présente toujours à peu près le même profil.

La terre végétale ou sol des agronomes, riche en matière organique, surmonte la roche mère, plus ou moins altérée **(fig. 241)**. Lorsqu'ils sont meubles et contiennent peu de matière organique, les niveaux superficiels sont utilisables pour la construction en terre. Ils sont désignés, en géotechnique, sous le nom de sols et l'étude de leurs propriétés relève de la mécanique des sols.

FIGURE 241



Les sols sont constitués par des mélanges en proportions variables de quatre sortes d'éléments : les graviers, les sables, les limons, et les argiles. Le comportement de chacun de ces constituants lui est spécifique et, par exemple, lorsqu'ils sont soumis à des variations d'humidité certains changent de volume, d'autres non.

Les premiers sont instables et les autres stables. Cette notion de stabilité, c'est-à-dire d'aptitude à supporter les alternances d'humidité et de sécheresse sans variations des propriétés, est fondamentale pour un matériau de construction.

a) Les graviers sont constitués de morceaux de roches plus ou moins dures dont la grosseur est comprise entre 5 et 100 mm environ. Ils sont un constituant stable du sol. Leurs propriétés mécaniques ne subissent aucune modification sensible en présence d'eau.

b) Les sables sont constitués de grains minéraux dont la grosseur est approximativement comprise entre 0,080 et 5 mm. Constituants stables du sol, ils ne possèdent pas, lorsqu'ils sont secs, de cohésion, mais présentent, par contre, une forte friction interne, c'est-à-dire une grande résistance mécanique de frottement aux déplacements relatifs des particules qui les composent.

Légèrement humides, par contre, ils possèdent une cohésion apparente, due à la tension superficielle de l'eau occupant les vides situés entre les grains.

c) Les limons constitués de grains dont la grosseur est comprise entre 0,002 et 0,080 mm environ, ne possèdent pas, lorsqu'ils sont secs, de cohésion.

Ayant une résistance au frottement généralement plus faible que celle des sables, ils montrent, humides, une bonne cohésion et peuvent, lorsque leur humidité varie, subir de sensibles variations de volume, gonflement et retrait.

Graviers, sables et, à un degré moindre, limons sont donc caractérisés par leur stabilité en présence d'eau. Secs, ils ne possèdent aucune cohésion et ne peuvent donc pas être utilisés seuls comme matériaux dans la confection des éléments constitutifs d'un bâtiment.

d) Les argiles, qui constituent la fraction la plus fine des sols (moins de 2 μ) ne possèdent pas du tout les mêmes caractéristiques que les autres granulats. La plupart des grains qui les constituent sont de petits minéraux microscopiques, les minéraux des argiles parmi lesquels nous retiendrons les Kaolinites, les Illites et les Montmorillonites. Les particules d'argiles sont entourées par un film d'eau absorbée et la petitesse des grains fait que leur poids est faible devant les forces dues aux tensions superficielles développées au niveau du film d'eau absorbée. Les forces de volume sont faibles devant les forces de surface.

Le film d'eau absorbée très fortement adhérant aux feuillets, forme des ponts entre les micro-particules du sol, ce qui donne à l'argile sa cohésion et l'essentiel de sa

résistance mécanique. Il ne peut être éliminé que par une dessication poussée. L'argile donne au sol sa cohésion : elle agit comme une sorte de liant entre les éléments plus grossiers qui constituent le squelette.

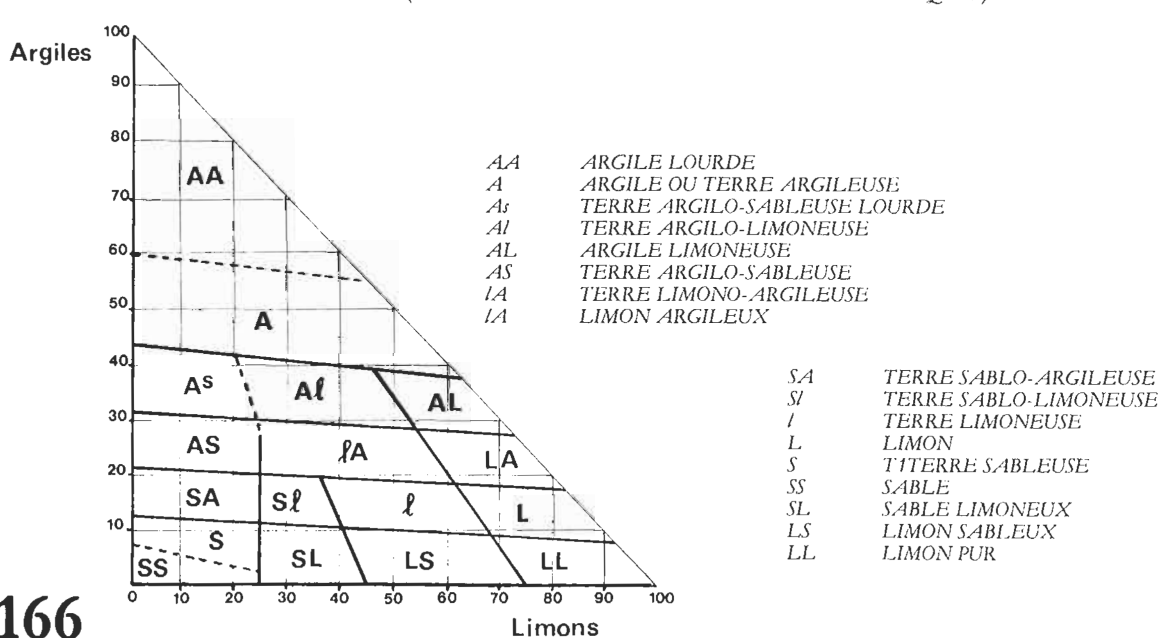
Cependant, à l'inverse des sables et des graviers, les argiles sont instables, sensibles aux variations d'humidité. Elles possèdent une grande affinité pour l'eau, et lorsque leur teneur en eau augmente, les films d'eau absorbée s'épaississent et le volume total apparent de l'argile augmente... Inversement, lors du retrait, au séchage, des fissures peuvent apparaître dans la masse

ORDRE DES GRANDEURS DES GRAINS D'ARGILES			
1 μ = 10^{-6} m	KAOLINITES	ILLITES	MONTMORILLONITES
Longueur μ et largeur μ	0,1 à 2	0,01 à 0,5	0,05
Epaisseur μ	0,005 à 2	0,005 à 0,05	0,001 à 0,02
Surface spécifique	5 à 10 m²/g	80 m²/g	80 à 800 m²/g
COMPORTEMENT LIE AUX VARIATIONS D'HUMIDITE	TRES VARIABLE suivant la composition et la structure des feuillets		
	Les argiles naturelles sont des mélanges comportant souvent des minéraux mixtes (interstratifiés)		
	PLUTÔT STABLE	TRES SOUVENT INSTABLES (GONFLANTES)	

de l'argile et affaiblir sa résistance. Lors d'une nouvelle période d'humidité, ces fentes livreront passage à l'eau jusqu'au cœur du matériau. Le « Gonflement-Retrait », variations de volume des sols argileux avec la teneur en eau, voilà l'ennemi !!

Ce que nous avons dit jusqu'ici concerne des teneurs en eau inférieures à la « limite de liquidité » et pour lesquelles les argiles sont cohérentes. Pour des teneurs en eau élevées, les argiles acquièrent une consistance « liquide » et perdent toute cohésion.

FIGURE 241 bis : TRIANGLE DES TEXTURES DE L'INRA (INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE AGRONOMIQUES)



II. Reconnaissance des sols

1. Prélèvements d'échantillons

On pourra les exécuter à la pelle, dans des puits ou tranchées. Les bonnes terres appartiennent au niveau superficiel meuble pauvre en matière organique. On enlèvera donc la terre végétale que la présence de matière organique rend impropre. On prélève en quantité suffisante des échantillons de chacun des sols rencontrés **(fig. 241)**.

Chaque échantillon sera mis dans un sac étanche, chaque sac sera bien sûr étiqueté, en indiquant le lieu et la profondeur du prélèvement.

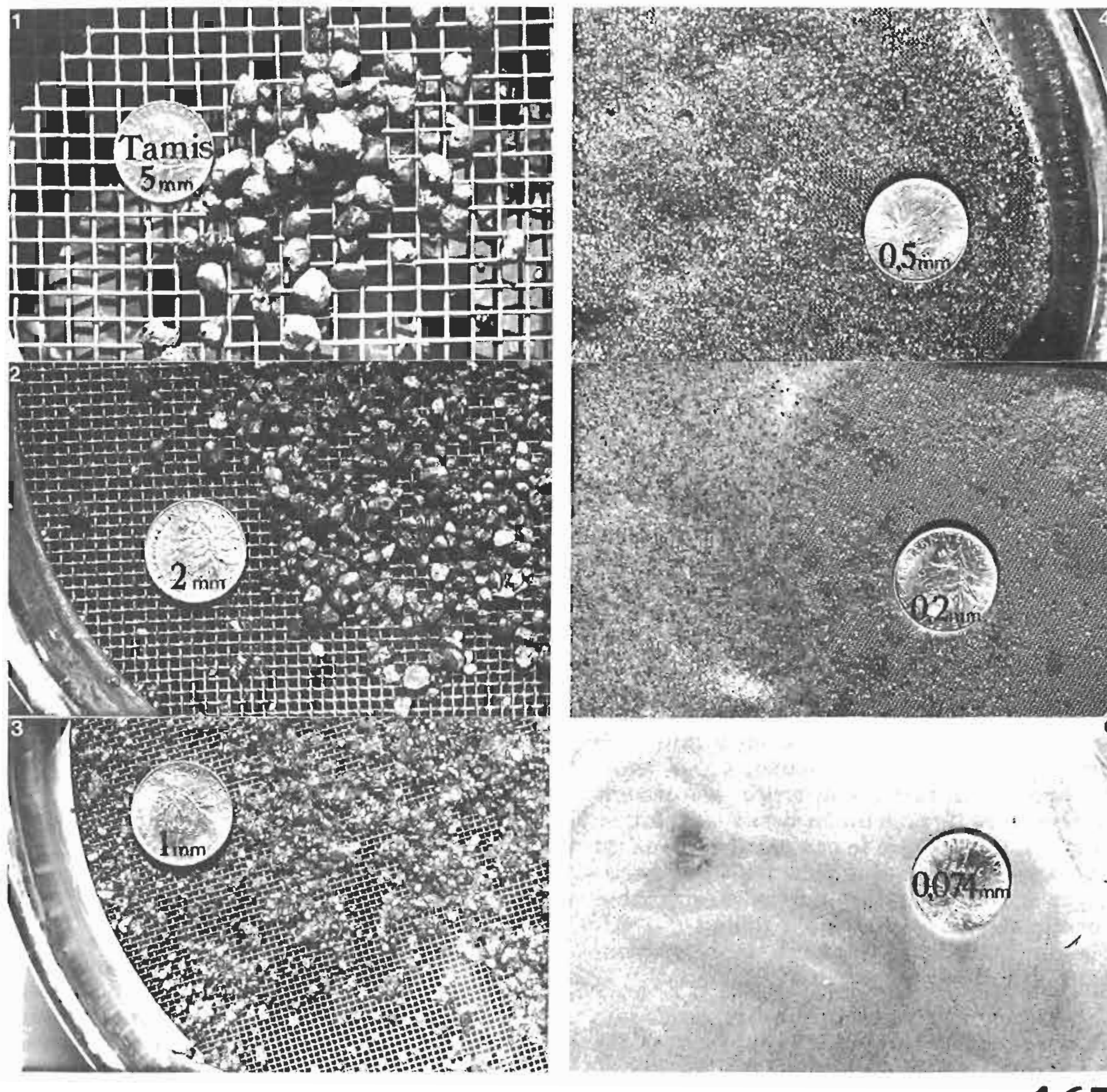
La nature des sols pouvant varier notablement d'un point à un autre sur une petite surface, il convient de faire des prélèvements représentatifs et suffisamment rapprochés, ce qui n'est pas toujours facile. Cette opération terminée, on peut alors entreprendre les analyses.

2. Essais de laboratoire

A - LA GRANULOMETRIE

L'analyse granulométrique permet de déterminer la quantité respective des différents éléments constituant le sol (graviers, sables, limons, argiles) **(fig. 242)**.

FIGURE 242 : LES REFUS DOIVENT ETRE TRES PROPRES AVANT D'ETRE ETUVES ET PESES



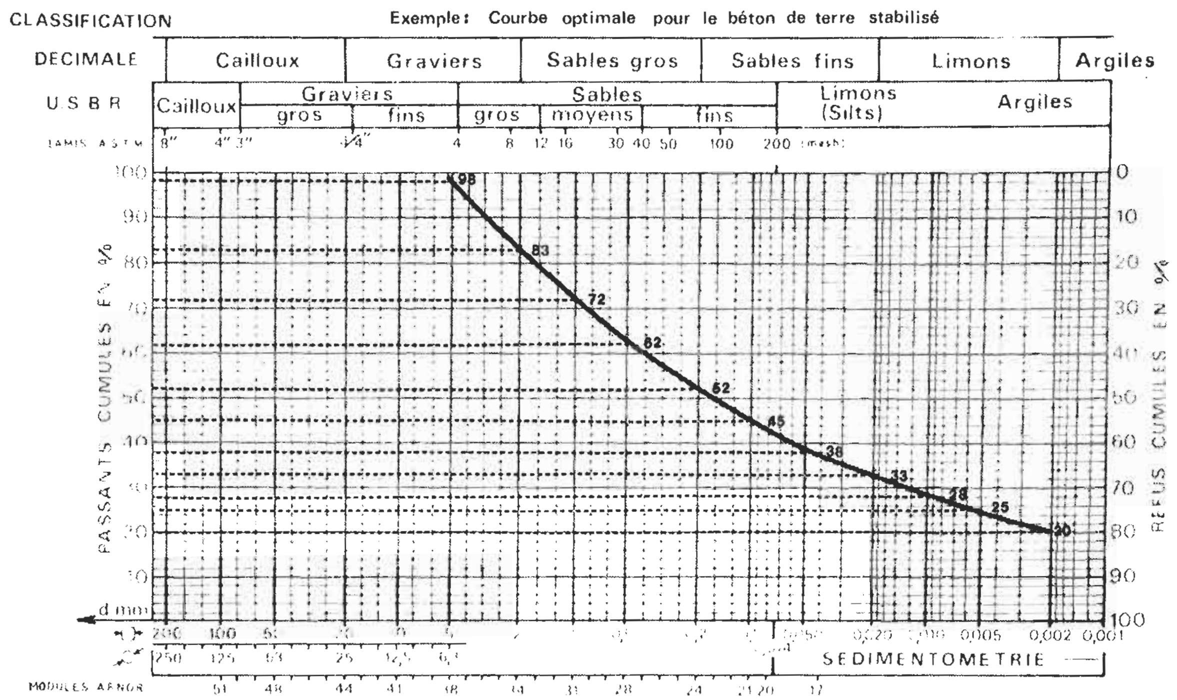
CRATerre

Les résultats de l'analyse se présentent, graphiquement sous la forme d'une « courbe granulométrique » tracée sur un diagramme spécial (diagramme granulométrique), comportant en abscisse, la grosseur des grains et, en ordonnée, le pourcentage des tamisats cumulés.

Ce pourcentage exprime la proportion en poids par rapport au poids de l'échantillon sec, de grains dont la grosseur est inférieure à la grosseur portée en abscisse. Ainsi, sur la courbe du diagramme de la **figure 243** on lit que :

98 % des grains traversent le tamis de 5 mm
83 % .... 2 mm
72 % .... 1 mm
62 % .... 0,5 mm
52 % .... 0,2 mm
45 % .... 0,1 mm

FIGURE 243



Les grosseurs de grains sont mesurées par deux techniques différentes :

a – le tamisage : utilisé pour les grains plus gros que 0,1 mm il consiste, après avoir superposé les tamis par ordre décroissant d'ouverture (le plus fin en-dessous), à filtrer le sol. Il se pratique le cas échéant, sous un courant d'eau, ce qui aide les fines particules à traverser les mailles. L'opération terminée, on recueille les « refus » des différents tamis et on les pèse après dessication **(fig. 244).**

b – Pour les grosses particules, au lieu de tamis à mailles carrées, on peut utiliser des passoires à « maille » circulaire.

B – LA SEDIMENTOMETRIE :

En fin de tamisage on recueille les particules qui ont traversé le tamis d'ouverture 0,1 mm. Comme il serait très long, fastidieux, voire impossible d'essayer de les faire passer à travers des tamis plus fins, on mesure leur grosseur par sédimentométrie.

Cette méthode utilise la différence de vitesse de chute des particules d'un sol préalablement mis en suspension dans l'eau. Les particules les plus grosses se déposent les premières et les plus fines les dernières. On mesure la variation de densité de la suspension dans le temps à une hauteur donnée (la densité diminue lorsque le liquide s'éclaircit). Connaissant la vitesse de chute des

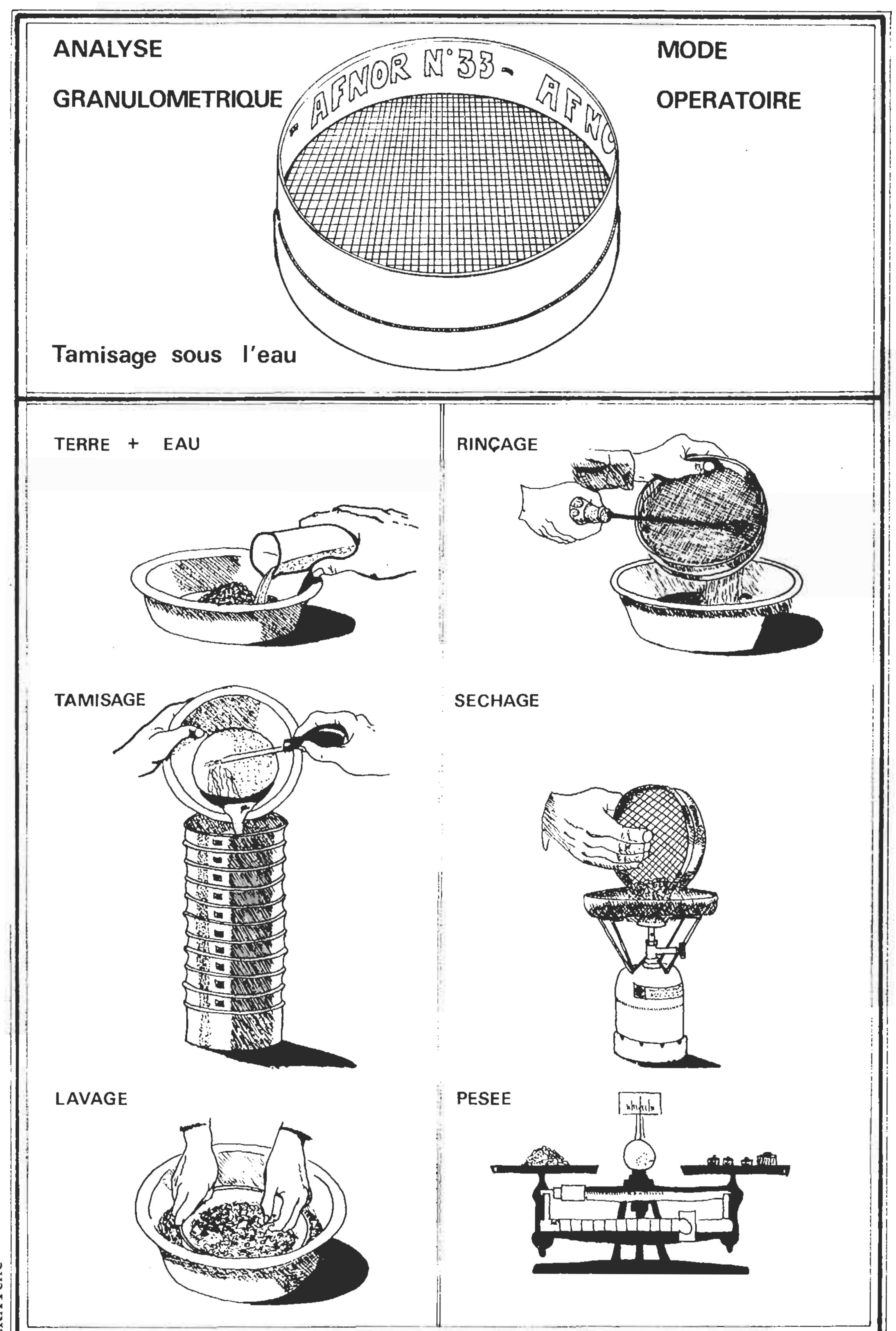

ANALYSE
GRANULOMETRIQUE
AFNOR N°33 - AFNO
MODE
OPERATOIRE
Tamisage sous l'eau
TERRE + EAU
RINÇAGE
TAMISAGE
SECHAGE
LAVAGE
PESEE



FIGURE 245 : DECOMPOSITION D'UNE TERRE LATERIQUE APRES GRANULOMETRIE

particules suivant leur taille, il est alors possible de calculer les proportions des grains de différentes grosseurs **(fig. 247-248).**

Une variante simplifiée de ce procédé est la méthode du **siphonage.**

On utilise dans ce cas toute la terre passée au travers du tamis de 2 mm ou 5 mm, à laquelle on ajoute de l'eau. Pour assurer la dissociation des grains on incorpore un produit défloculant. Par exemple : 20 ml de silicate de sodium à 3° Baumé, ou 50 ml d'une solution de gomme arabique à 45 g de gomme en poudre pour un litre d'eau. On verse ce mélange dans un récipient muni d'un agitateur magnétique que l'on fait fonctionner pendant une minute. On verse ensuite le mélange dans une éprouvette graduée jusqu'à une hauteur de 20 cm exactement (cette hauteur a été choisie en fonction des vitesses usuelles de chute des particules) et l'on secoue bien le tout, à plusieurs reprises. On laisse ensuite le mélange se décanter pendant 20 minutes. Ensuite, on introduit avec précaution dans l'éprouvette un disque métallique jusqu'à le mettre en contact avec le matériau déposé.

FIGURE 247 : SEDIMENTOMETRIE, MESURE EN LABORATOIRE



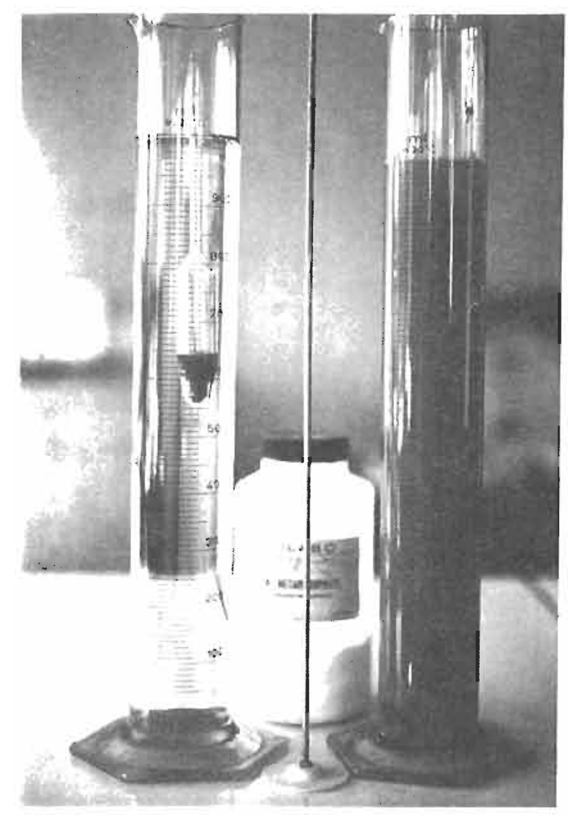
Cette opération a pour but de séparer le matériau déposé de celui en suspension. On siphone alors le matériau demeuré en suspension avec un tuyau flexible. On déssèche ce prélèvement et on le pèse ; puis, avec les tamis de 0,25 ou 0,5 mm et de 0,074 ou 0,080 mm on tamise la partie de sol demeurée au fond de l'éprouvette :

- la fraction retenue par le tamis de 2 mm ou 5 mm est le gravier ;
- la fraction retenue par le tamis de 0,25 mm ou 0,5 mm peut être considérée comme étant du gros sable ;
- la fraction retenue par le tamis de 0,074 ou 0,080 mm est le sable fin ;
- la fraction qui passe au travers du tamis de 0,074 et qui s'est déposée est le limon ;
- la fraction qui passe dans le tamis de 0,074 ou 0,080 mm et qui a été siphonée est de l'argile.

C - GRANULARITE OPTIMALE

L'évocation du « rôle mécanique des composants » du sol, au début de ce chapitre, a permis de se faire une idée de la façon dont les graviers, sables, limons et argiles interviennent dans une structure de terre. Les

FIGURE 248 : MATERIEL POUR SEDIMENTOMETRIE (1 DENSIMETRE GRADUE DE 995 A 1030 DE FORME TORPILLE, 2 EPROUVETTES DE 1 L, 1 THERMOMETRE, 1 AGITATEUR, DU DEFLOCULANT, 1 FICHE, 1 CHRONOMETRE).



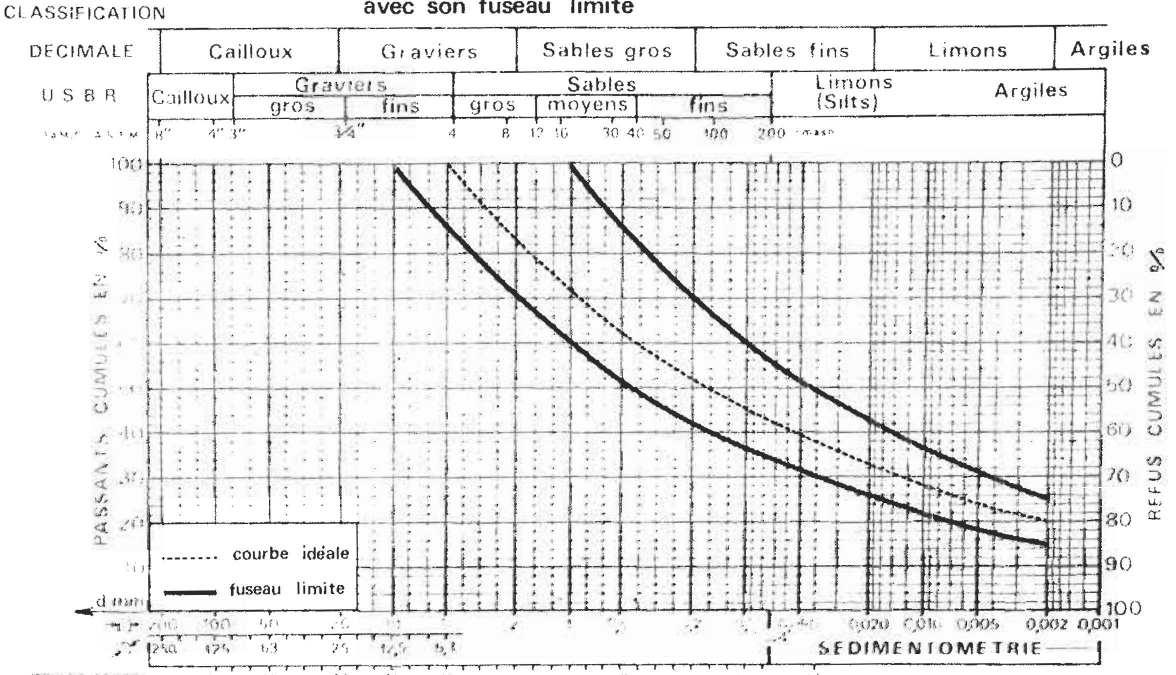
éléments tels que les graviers et les sables sont les éléments résistants du matériau, cependant que les argiles assurent la cohésion de l'ensemble, et que les limons ont une fonction intermédiaire, moins nette.

En définissant une courbe optimale nous allons essayer de tirer parti au mieux des qualités des éléments du sol.

Le regroupement des spécifications granulométriques publiées sur le béton de terre stabilisé permet de définir cette granularité optimale. Nous la présentons graphiquement sous la forme d'une « courbe idéale » encadrée de ses deux courbes limites (inférieure et supérieure) **(fig. 249)**.

FIGURE 249

ANALYSE GRANULOMETRIQUE



CRATerre

Pour répondre aux exigences d'une granularité optimale, un sol destiné à la confection d'un B.T.S. devra répondre aux conditions suivantes :

1. Sa courbe granulométrique doit être contenue dans le fuseau limite.

2. Elle doit se rapprocher le plus possible de la courbe idéale.

3. Elle devra être approximativement parallèle aux courbes limites et à la courbe idéale, surtout dans la région des limons.

Nous donnons également des fuseaux limites pour le pisé et les briques compressées **(fig. 250)**. Si ces fuseaux limites garantissent une certaine sécurité cela ne veut pas dire qu'en dehors de ce fuseau il ne soit pas possible de construire en terre. Il y aura des problèmes importants à résoudre.

D - LES LIMITES D'ATTERBERG

L'étude granulométrique du sol se borne donc à l'analyse de la grosseur des éléments constitutifs qui conditionne fortement ses propriétés physico-mécaniques, mais n'en n'est pas le seul paramètre. C'est ainsi que, indépendamment de leur granularité, les argiles peuvent présenter des propriétés physiques et mécaniques très variables selon la nature minéralogique ou chimique des particules.

Il sera donc nécessaire de compléter l'analyse granulométrique des argiles par des essais complémentaires.

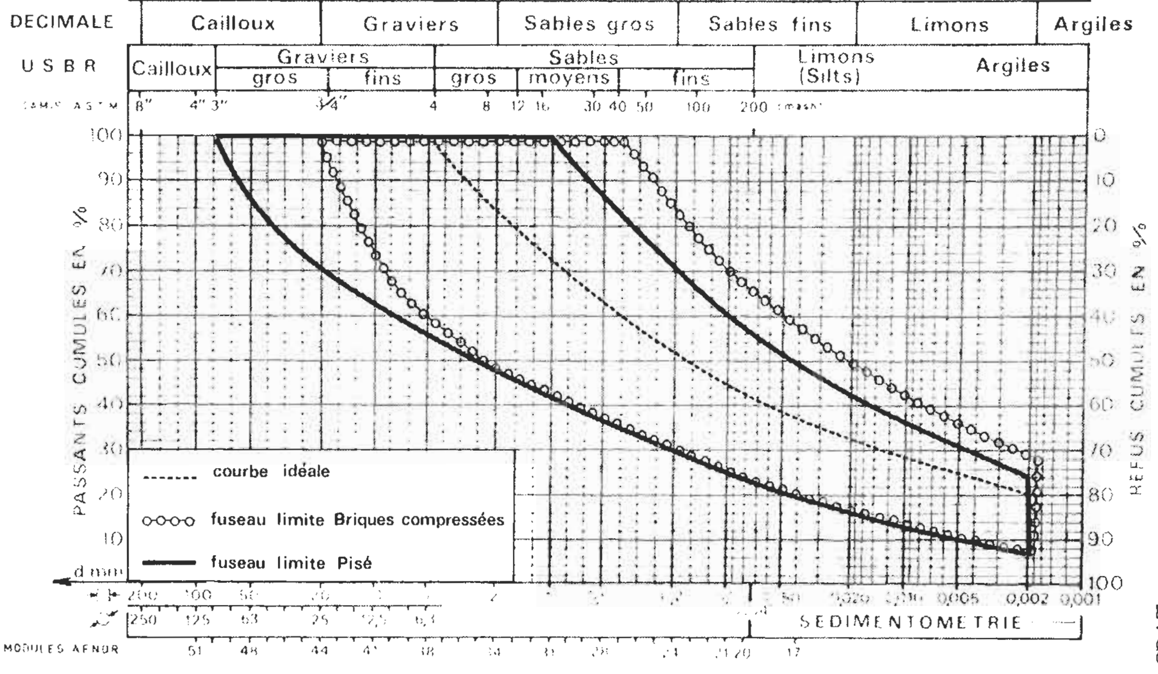
E - ETATS DE CONSISTANCE

Atterberg a défini une série d'essais normalisés qui permettent d'analyser les variations de consistance des sols fins triturés avec leur teneur en eau.

Comme pour la granularité, des études statistiques ont été faites en vue de définir les limites d'Atterberg « idéales » pour le béton de terre. La connaissance de ces limites d'Atterberg permet ainsi de prévoir rapidement les possibilités constructives d'un sol.

ANALYSE GRANULOMETRIQUE

FUSEAUX LIMITES POUR LE PISE et LES BRIQUES COMPRESSEES



Rappel des états de consistance

Selon sa teneur en eau, un sol peut être « liquide », « plastique » ou « solide ». Les limites d'Atterberg définissent conventionnellement les frontières entre ces différents états :

Etat de dispersion	
Etat liquide	
	Limite de liquidité Wl
Etat plastique	
	Limite de plasticité Wp
Etat solide avec retrait	
	Limite de retrait Wr
Etat solide sans retrait	

La détermination des limites d'Atterberg se pratique sur la partie fine du sol appelée « MORTIER » qui regroupe la fraction qui passe à travers le tamis de 0,4 mm.

Ce sont en effet les seuls éléments sur lesquels l'eau agit en modifiant la consistance.

1. La limite de liquidité Wl.

Elle marque le passage de l'état plastique à l'état liquide.

Elle se mesure à l'aide d'un appareil (appareil de Casagrande) qui est constitué par une petite coupelle dans laquelle on met la terre et d'une came mue par une manivelle qui soulève la coupelle et la laisse brusquement retomber sur un socle rigide **(fig. 252-253).**

Avec une spatule on étale de la terre dans la coupelle, puis avec un outil spécial on creuse au milieu de la coupelle un sillon dans la pâte. On soumet alors la coupelle à





FIGURE 253 : APPAREIL DE CASAGRANDE POUR LES LIMITES D'ATTERBERG

APPAREIL de CASASAGRANDE

LIMITE de LIQUIDITE

MODE OPERATOIRE

outil spécial à rainurer

On étale la terre dans la coupelle à l'aide d'une spatule

REMPLISSAGE

Avant rainure

On trace un sillon dans l'axe de la coupelle avec l'outil à rainurer

RAINURE

Après traçage

On soumet la coupelle à des chocs en tournant la manivelle de l'appareil

La RAINURE se REFERME

Après les chocs

1cm

La LIMITE de LIQUIDITE est atteinte quand la rainure se referme sur 1 Cm en 25 COUPS

Analyses granulométriques de quelques constructions en pisé de la région du Bas-Dauphiné

Nous avons prélevé une dizaine d'échantillons sur des murs de maisons ou d'anciennes granges en pisé de la région de Chambaran, de la Bièvre, des Terres Froides et de la vallée de l'Isère.

Certaines de ces habitations ont été construites il y a environ 50 ans, d'autres il y a plusieurs siècles.

Nous avons procédé à l'analyse granulomètrique de ces terres, et comparé leurs courbes granulométriques au fuseau limite définissant la granularité optimale **(fig. 251).**

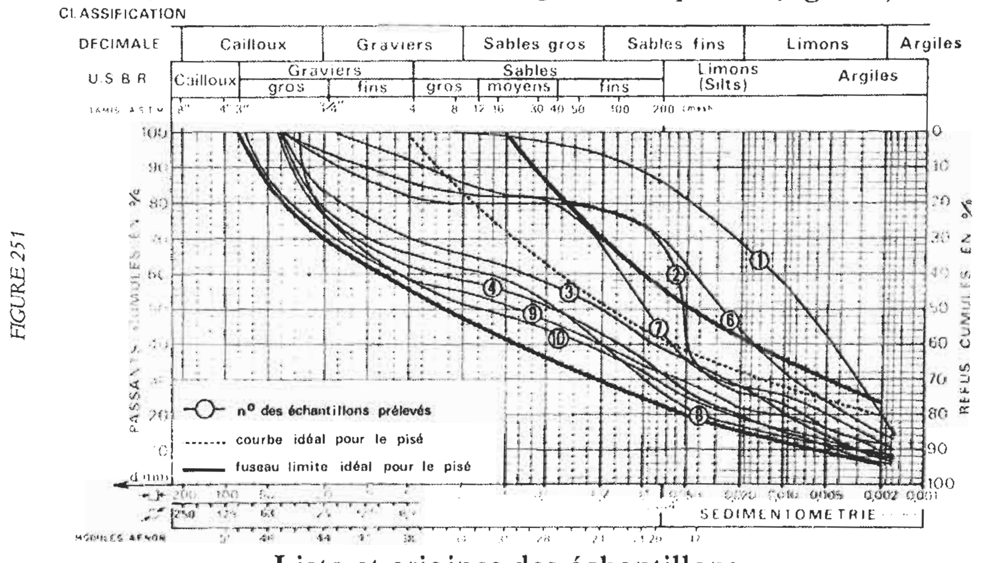


FIGURE 251

CRATerre

Liste et origines des échantillons

1 – En bordure de l'Isère près de Tullins	*Maison*	*en ruine*
2 – Chambaran – St-Paul d'Izeaux	*Grange*	*état médiocre*
3 – Chambaran – St-Paul d'Izeaux (L'Abbaye)	*Maison*	*bon état*
4 – Plaine de la Bièvre	*Grange*	*très bon état*
6 – Terres Froides – Eydoches	*Maison*	*bon état*
7 – Terres Froides – Bâtie Divisin	*Maison*	*bon état*
8 – Terres Froides – St-Geoir en Valdaine	*Grange*	*très bon état*
9 – Plaine de la Bièvre – Le Grand Lemps	*Maison*	*bon état*
10 – Plaine de la Bièvre – Le Grand Lemps	*Maison*	*en ruine*

Exceptés les échantillons n° 1 et n° 2, toutes les courbes se situent dans le fuseau, ce qui est en accord avec les conclusions de notre étude sur la granularité optimale.

L'échantillon n° 1, provient d'une maison en ruine construite avec une terre limoneuse. Cette terre n'était généralement pas employée pour la construction, car dans cette zone, en bordure de l'Isère, on bâtissait en galets hourdis au mortier. Le choix relève probablement du constructeur qui connaissait cette technique et l'a utilisée dans un milieu inadapté.

La qualité médiocre de l'échantillon n° 2, est probablement dûe à un mauvais choix de carrière car, habituellement, dans la région, les terres ont une meilleure granularité. Cette construction présente des traces d'érosion.

un certain nombre de chocs jusqu'à ce que le sillon se referme sur 1 cm. On ajoute un peu d'eau et on recommence un nouvel essai, ce qui donne un nombre de coups plus faible. On trace alors la courbe d'évolution du nombre de coups avec les teneurs en eau.

La limite de liquidité est exprimée par la teneur en eau pour laquelle les 2 moitiés séparées par le sillon se referment sur une longueur de 1 cm en 25 coups.

2. La limite de plasticité Wp

Elle marque le passage de l'état plastique à l'état solide et se définit par la teneur en eau d'un petit rouleau de sol qui se brise en morceaux lorsque son diamètre atteint 3 mm.

On la mesure en formant une boulette de terre qu'on roule sur une plaque plane de verre ou de marbre avec la paume de la main ou avec une plaque de plexiglas. La terre est à la limite de plasticité lorsque le rouleau obtenu pour un diamètre de 3 mm se désagrège en petits morceaux de 1 à 2 cm de longueur. Si le rouleau se désagrège lorsque son diamètre est supérieur à 3 mm, il faut ajouter un peu d'eau. S'il arrive à 3 mm sans se désagréger il faut le dessécher un peu et recommencer **(fig. 254).**

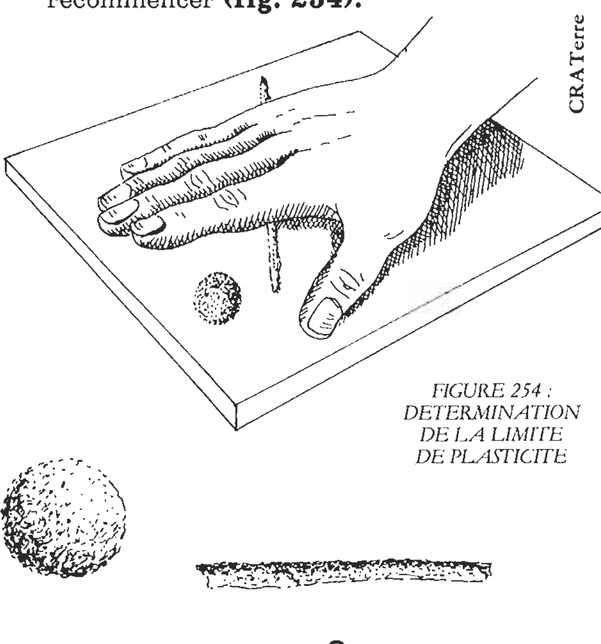
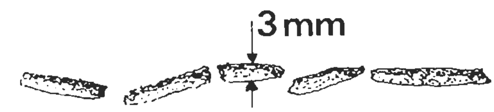


FIGURE 254 : DETERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITE



Après dessiccation à l'étuve, on calcule la teneur en eau correspondante (poids d'eau sur poids sec).

3. L'indice de plasticité Ip

Une fois la limite de plasticité et la limite de liquidité déterminées, on calcule l'indice de plasticité : Ip = wl – wp

– plasticité faible : Ip de 5 à 10
– plasticité moyenne : Ip de 10 à 20
– plasticité forte : Ip supérieur à 20

A titre d'exemple, voici Ip et wl pour certains sols :

– sables : Ip de 0 à 10 — Wl de 0 à 30
– limons : Ip de 5 à 25 — Wl de 20 à 50
– argiles : Ip sup. à 20 — Wl sup. à 40

4. La limite de retrait Wr

La limite de retrait correspond à la teneur en eau en deça de laquelle le volume demeure constant. Pour la déterminer, on opère par dessiccation à l'étuve d'un échantillon de sol ayant une teneur en eau proche de Wl et dont on mesure les variations de volume et de masse. Quand la teneur en eau diminue par évaporation, le volume décroit à peu près linéairement. Lorsque les grains sont en contact, le volume cesse de décroître alors que la teneur en eau continue de baisser.

5. La limite d'absorption Wa

A ces trois limites d'Atterberg, il est intéressant d'ajouter, pour la construction en terre, la limite d'absorption qui correspond à la teneur en eau à partir de laquelle l'eau ne pénètre plus dans le matériau.

On la mesure en faisant tomber une goutte d'eau sur une pâte bien homogène. Si la goutte est absorbée en moins de 30 secondes, on homogénéise la pâte en augmentant la teneur en eau et on recommence, ainsi de suite, jusqu'à ce que la goutte d'eau ne pénètre plus sur une facette horizontale avant 30 secondes. La goutte d'eau forme alors une tache brillante.

La limite d'absorption est logiquement supérieure à la limite de retrait, et dans ce cas, le matériau à tendance à absorber de l'humidité et à gonfler. Elle peut parfois être inférieure à la limite de retrait, ce qui met le matériau à l'abri du gonflement. Le dernier cas est, bien sûr, préférable.

6. Coefficient d'activité

Le coefficient d'activité donne une idée du gonflement et du retrait d'un sol. C'est le rapport entre Ip et le pourcentage de grains inférieurs à 2µm (argiles).

$$Ca = \frac{Ip}{\%\ \text{argiles}\ (ø < 2\,\mu m)}$$

Les sols peuvent se répartir ainsi selon leur degré d'activité :

Ca inf. à 0,75 .... Inactif (I)
de 0,75 à 1,25 . Activité moy. (AM)
de 1,25 à 2 .... Actif (A)
Ca sup. à 2 .... Très actif (TA)

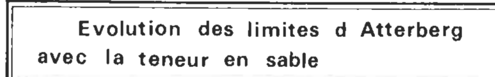
Du point de vue performance mécanique, on peut dire qu'un sol inactif pourra se passer de stabilisation, et qu'un sol ayant une activité moyenne en demandera certainement.

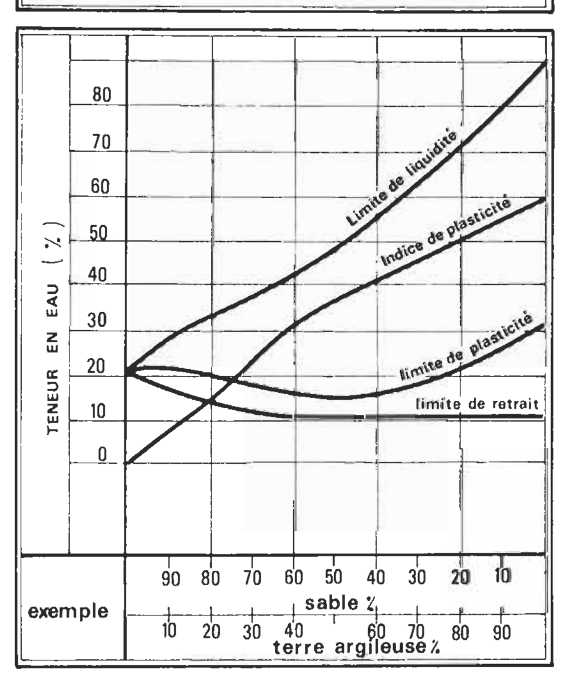
Si l'on utilise les résultats de la « granularité optimale » avec des pourcentages d'argile entre 15 % et 25 % on peut dresser le tableau suivant :

Zone plastique	Activité	Stabilisant (quantité)
1-2-3	inactif	très faible ou nulle
4-5-6-7		
8-9-10	activ. moyenne	faible à moyenne
11-12-13	actif	importante

La figure 256 montre la variation des limites d'Atterberg dans un sol dont on a fait varier le rapport sable/argile.

FIGURE 256





CRATerre

Par l'étude des spécifications concernant les limites d'Atterberg proposées par différents auteurs, il est possible de classer la fréquence avec laquelle les mêmes choix se retrouvent, et par conséquent d'établir une sorte de panorama et de classement, par ordre préférentiel, des limites d'Atterberg **(fig. 255)**.

Le tableau ci-dessous présente une récapitulation des spécifications concernant les limites d'Atterberg.

	Zones limites	Zones préférentielles
Ip	de 7 à 29	de 7 à 18
Wl	de 25 à 50	de 30 à 35
Wp	de 10 à 25	de 12 à 22
Wr	de 8 à 18	Wr < T.E.O
Wa	Wa < Wr Wa < Wp	

F. L'ESSAI PROCTOR

Le compactage est le premier moyen d'améliorer la résistance d'un sol. Pour être efficace, il doit être réalisé sur un matériau possédant une teneur en eau assurant la lubrification des grains du sol et leur permettant de se réarranger afin d'occuper le moins de place possible. Le but de l'essai Proctor est de déterminer cette teneur en eau appelée « teneur en eau optimale » (T.E.O.) de compactage.

a) – Principes du mode opératoire

Un exemple de diagramme Proctor **(fig. 258)**, montre que la T.E.O. est de 14,5 %.

Diagramme de l'essai Proctor

Permettant de déterminer la teneur en eau optimum (TEO) pour un compactage particulier

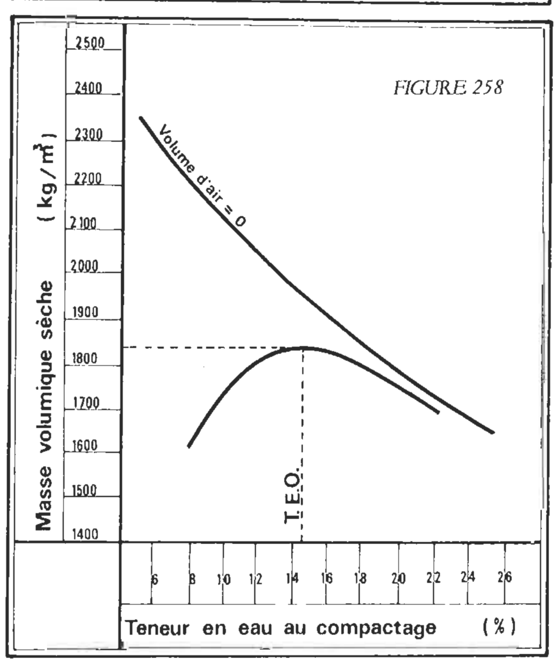


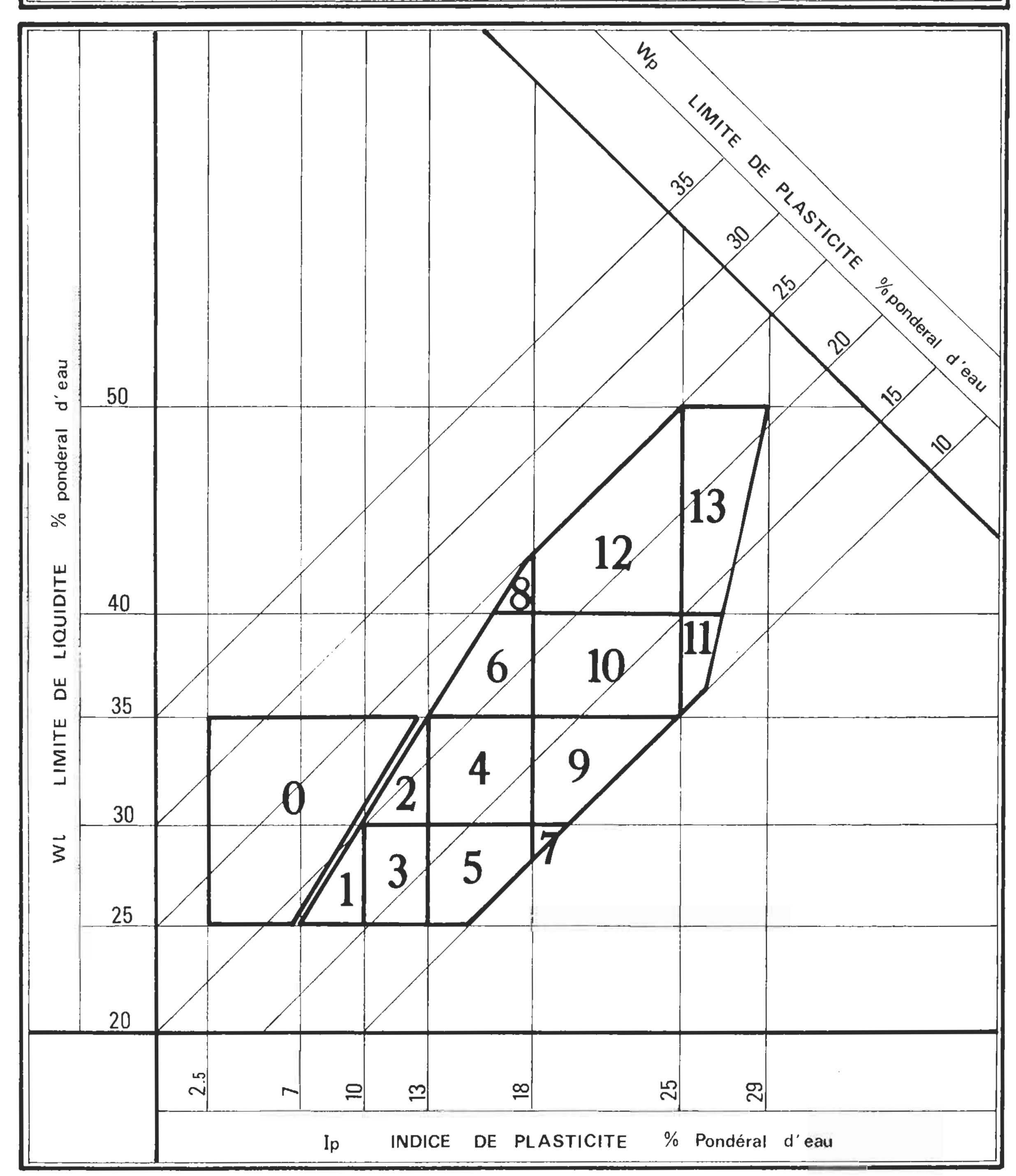
FIGURE 258

CRATerre

Cette teneur en eau correspond à la plus forte masse volumique possible avec l'énergie de compactage utilisée.

Le principe de l'essai est le suivant : on place dans un moule cylindrique de volume connu un échantillon de terre dont on

FIGURE 255



CLASSEMENT PAR ORDRE PREFERENTIEL DES LIMITES D'ATTERBERG (1,2...
Wp LIMITE DE PLASTICITE %ponderal d'eau
35
30
25
20
15
10
WL LIMITE DE LIQUIDITE % ponderal d'eau
50
40
35
30
25
20
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
2.5
7
10
13
18
25
29
Ip INDICE DE PLASTICITE % Pondéral d'eau

connait la teneur en eau. On dame cet échantillon en respectant le processus opératoire. On mesure ensuite, le poids et on contrôle la teneur en eau de l'échantillon compacté. On en déduit la masse volumique sèche que l'on porte sur le diagramme Proctor avec la teneur en eau correspondante.

ESSAI PROCTOR STANDARD

Dame : masse de 2,496 kg. Diamètre de 5,08 cm.
Moule cylindrique : Volume de 949 cm^3, hauteur de 11,70 cm, diamètre de 10,16 cm..
Masse de terre nécessaire par point de mesure : 1,5 kg.
Energie unitaire : 6 joules par cm^3
Nombre de coups par couche : 25
Epaisseur des couches : environ 4 cm.
Nombre de couches : 3
Hauteur de chute de la dame : 30,5 cm.

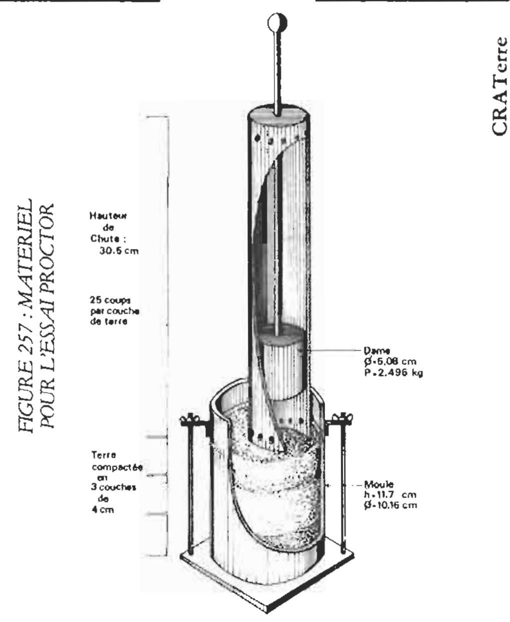


FIGURE 257 : MATERIEL POUR L'ESSAI PROCTOR

La figure 257 donne les caractéristiques de l'essai PROCTOR STANDARD. Cet essai est assez bien adapté à la terre damée et aux blocs réalisés à la presse.

Estimation rapide de la teneur en eau optimale (T.E.O.) sur le terrain.

Pour estimer sur le chantier la teneur en eau optimale, on peut prendre une poignée de terre gâchée et la laisser tomber d'une hauteur de 1,10 m sur une surface dure. Si, arrivant au sol, elle se désagrège en 4 ou 5 morceaux, la teneur en eau est correcte. Si, au contraire, elle s'aplatit sans se désagréger, la terre contient trop d'eau. Lorsqu'elle se pulvérise, la teneur en eau est insuffisante **(fig. 259).**

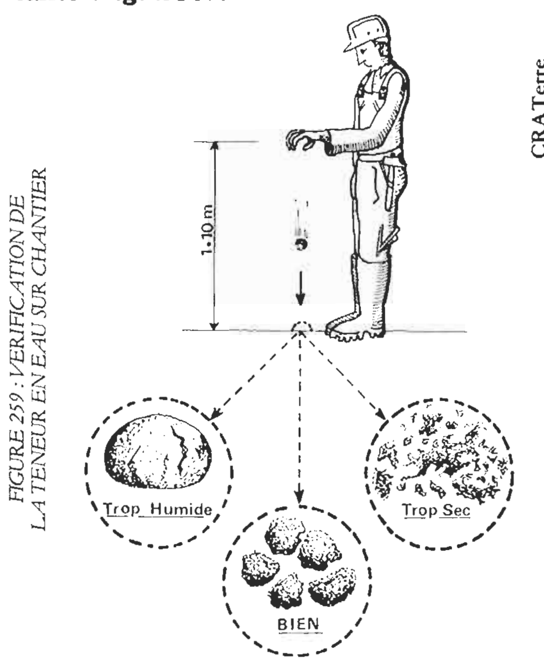


FIGURE 259 : VERIFICATION DE LA TENEUR EN EAU SUR CHANTIER

b – Interprétation de l'essai Proctor :

Si la masse volumique sèche obtenue à la T.E.O. est comprise entre 1650 et 1760 kg/m^3, le résultat est assez médiocre, entre 1760 et 2100 kg/m^3, le résultat est très satisfaisant, le matériau assez argileux. Entre 2100 et 2200 kg/m^3, le résultat est excellent, le matériau riche en gros éléments. Entre 2200 et 2400 kg/m^3, le résultat est exceptionnel.

T.E.O. (%)	Appréciation	Possibilités de stabilisation (cf. le chap. correspondant)	Stabilisant conventionnel	
de 7 à 9	Bien			
de 9 à 17	Excellent	le plus facile à stabiliser	ciment	
de 17 à 22	Acceptable	difficile à stabiliser		chaux
de 22 à 25	Eventuellement acceptable			

3) Les essais de terrain

Les essais en laboratoire, parfaitement définis et normalisés, nécessitent un équipement spécial. Les essais qui vont suivre, au contraire, ne demandent pas d'outillage spécialisé et peuvent s'effectuer sur le terrain, pendant le prélèvement des échantillons. L'expérience aidant, ils fournissent des renseignements qualitatifs, permettent une classification assez fine des sols et une appréciation directe de leurs possibilités d'utilisation. Nous les présentons dans un ordre un peu arbitraire, en commençant par les plus simples. Il s'agit donc ici d'un inventaire de possibilités plutôt que d'un choix.

1) EXAMEN DE L'ODEUR

Les sols organiques ont une odeur de « moisi », surtout quand on vient de les extraire. L'odeur de ces sols est amplifiée si on les humidifie ou les chauffe. Ils ne doivent pas, en principe, être utilisés en construction.

2) ESSAI DE MORSURE

C'est une façon rapide de constater la présence de sable, de limon ou d'argile : prendre une pincée de terre et l'écraser légèrement entre les dents :

a) Sol sabloneux : les particules de sables dures crissent désagréablement entre les dents. Cela se produit même avec un sable très fin.

b) Sol limoneux : les particules de limon sont beaucoup plus petites que celles du sable et, bien qu'elles crissent entre les dents, ce n'est pas désagréable. Le limon grince nettement moins que le sable.

c) Sol argileux : les particules d'argile ne grincent pas du tout. Au contraire, l'argile paraît lisse et farineuse entre les dents. Une pastille de terre sèche contenant beaucoup d'argile est fortement collante si on y applique la langue : elle happe la langue.

3) EXAMEN DE L'ECLAT

Prendre une boulette de terre légèrement humide et la couper en deux avec un couteau. Si la surface de l'entaille est brillante, la terre est argileuse plastique ; si la surface est terne, la surface est plutôt limoneuse.

4) TOUCHER

L'impression obtenue au toucher permet de déterminer sur place avec une exactitude suffisante, le composant de base d'un sol.

On prend un échantillon dont on retire les particules les plus grosses, de dimension supérieure à 5 mm (gravillons) ; on malaxe ou on effrite cet échantillon entre les doigts et la paume de la main, ce qui permet d'évaluer les dimensions des composants :

Sable : les particules de sable sec, donnent au toucher une impression de rugosité ;

Limon : le limon sec donne également une impression de rugosité, mais moins accentuée ; le limon humide est d'une plasticité moyenne ;

Argile : l'argile sèche se présente en mottes ou en grains assez volumineux et offre une forte résistance à l'écrasement. L'argile humide est plastique et colle aux doigts. Les sols sablo-limoneux produisent, lorsqu'on les triture entre pouce et index à proximité de l'oreille, un crissement nettement audible.

5) LAVAGE DES MAINS

En se lavant les mains avec la terre tout comme on le ferait avec du savon, on obtient un certain nombre d'indications. Humides, les sols argileux donnent une sensation onctueuse ou savonneuse et il est difficile de se rincer les mains. Les sols limoneux paraissent pulvérulents et ne sont pas trop difficiles à rincer. Les sols sabloneux sont faciles à rincer.

6) EXAMEN A L'ŒIL

Il permet de se faire une idée de la proportion et de la grosseur des particules des constituants les plus volumineux, et par déduction, de celle des particules les plus fines. Toutefois, les particules les plus fines visibles à l'œil nu sont celles de 0,08 mm, les grains d'argile et de limon sont invisibles.

7)ESSAI DE SEDIMENTATION SIMPLIFIE

On choisit un flacon de verre transparent, muni d'une ouverture suffisamment large, mais que l'on peut obturer à la main.

Ce flacon doit être cylindrique, avoir un fond plat, et une capacité d'au moins un demi-litre. On le remplit de terre jusqu'au quart de sa hauteur et on complète le reste avec de l'eau.

En fermant le flacon avec la paume de la main, on agite fortement le mélange, puis on laisse reposer sur une surface horizontale.

Au bout d'une heure, on agite de nouveau et on laisse décanter. Après 45 minutes, on constate que le sable s'est déposé au

fond, surmonté d'une couche de limon. Au-dessus, on trouve une suspension d'argile.

Après 8 heures, on mesure la hauteur des différentes couches : hauteur totale des sédiments se trouvant dans le flacon ; hauteur de chaque couche sédimentée. On obtient ainsi une indication des proportions de chacun des constituants du sol **(fig. 260)**.

FIGURE 260 : SEDIMENT SIMPLIFIE

eau

argile

limon

sable

CRATerre

8) ESSAIS SUR LES COMPOSANTS FINS

Les essais suivants étant effectués sur les composants fins, ceux-ci seront, au préalable, isolés, par tamisage, ou par décantation.

• Décantation

Cet essai commence comme l'« essai de sédimentation simplifié » décrit ci-dessus. On agite fortement le flacon contenant l'échantillon de terre et on laisse décanter pendant 30 secondes. A l'aide d'un tube de caoutchouc, faisant office de siphon, on prélève immédiatement l'eau et les matériaux qu'elle contient en suspension, et on recueille le tout dans un récipient plat. On laisse décanter ce mélange jusqu'à ce que l'eau soit claire. Ensuite, on vide l'eau en gardant l'échantillon de terre au fond du récipient. L'excès d'eau que contient encore l'échantillon est éliminé par évaporation.

Pour faciliter le siphonage, il est recommandé de remplir complètement d'eau le tube de caoutchouc qui fait office de siphon et d'en obturer les deux extrémités avec les doigts. Il suffit ensuite d'introduire une de ces extrémités dans le flacon, en veillant à ce que l'autre soit plus basse que le flacon.

• Essai de secousses (ressuage)

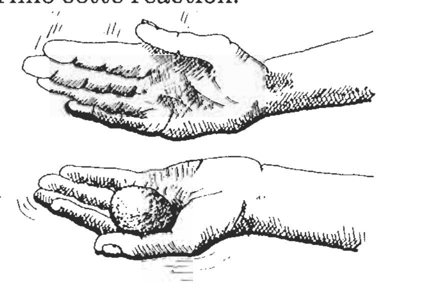
On prélève une portion de l'échantillon décanté, que l'on roule dans le creux de la main pour en faire une boule de 2 ou 3 centimètres de diamètre. La terre devra être suffisamment molle pour que la boule tienne et ne colle pas aux doigts.

On aplatit légèrement la boule dans la paume de la main tendue horizontalement et du tranchant de cette main, on frappe plusieurs fois vigoureusement sur l'autre main. Les secousses font ressortir l'eau à la surface de l'échantillon et à ce moment, l'aspect de la terre peut être lisse, brillant ou gras **(fig. 261)**.

Ensuite, on presse la terre entre le pouce et l'index de l'autre main et on observe les modifications d'aspect de la boulette.

a) réaction rapide : il suffit de 5 à 10 coups pour faire venir l'eau à la surface. En pressant l'échantillon, on fait immédiatement disparaître l'eau et la surface devient mate. Si on presse plus fort, l'échantillon s'effrite.

Il s'agit d'un sable très fin ou d'un limon grossier sans matières organiques. La présence d'une faible proportion d'argile supprime cette réaction.



CRATerre

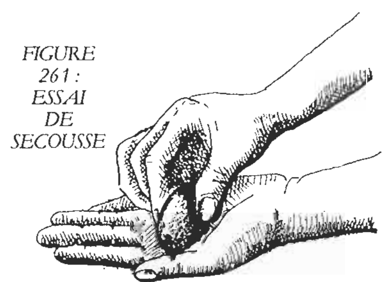


FIGURE 261 : ESSAI DE SECOUSSE

b) réaction lente : il faut entre 20 et 30 coups pour que l'eau apparaisse à la surface. Ensuite, lorsque l'on presse, l'échantillon ne se craquèle ni ne s'effrite, mais il s'aplatit comme une boule de mastic.

Cela indique un limon légèrement plastique ou une argile limoneuse.

c) réaction très lente ou pas de réaction : plus le sol est argileux, plus la

réaction est lente. Lorsque l'on presse l'échantillon, sa surface demeure brillante.

• Essai de Cordon

Cet essai apporte des précisions complémentaires à l'essai de secousses ; il ne se justifie pas si ce dernier a donné une « réaction rapide ». Prendre un morceau de terre de la taille d'une grosse olive, le mouiller juste assez pour que l'on puisse le modeler facilement à la main, sans qu'il soit collant. Puis, sur une surface plane et propre, le rouler pour en faire un cordon en appuyant juste assez pour que le cordon s'amincisse progressivement.

S'il casse avant d'être réduit à un diamètre de 3 mm, la terre est trop sèche et on ajoutera un peu d'eau. Quand la teneur en eau est correcte, le cordon se tronçonne juste quand il arrive au diamètre de 3 mm **(fig. 254)**.

Si le morceau de terre s'émiette facilement et si l'on ne peut faire un cordon, quelle que soit la quantité d'eau, le sol ne contient que peu d'argile.

Si l'on parvient à faire un cordon, dès qu'il s'est brisé en morceaux de 3 mm de diamètre, reconstituer une boulette avec ceux-ci et l'écraser entre le pouce et l'index.

a) cordon dur. Si la boulette est difficile à écraser et si elle ne se fissure ni ne s'émiette, le sol contient beaucoup d'argile. On ne pourra sans doute pas l'utiliser seul dans la construction en terre ;

b) cordon mi-dur. Lorsque l'on presse la boulette entre les doigts, elle se fissure et s'émiette. Le sol peut être bon pour la construction ;

c) cordon fragile. Lorsque le sol contient beaucoup de limon ou de sable et peu d'argile, il est impossible de reformer une boulette sans qu'elle se ne se casse ni ne s'émiette. Ce sol convient pour les murs de terre.

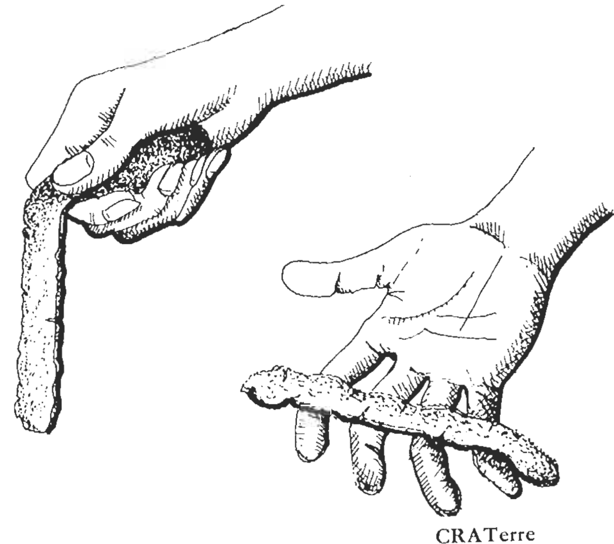
d) cordon mou et spongieux. Parfois, les cordons et boulettes sont mous et les boulettes ont, entre les doigts, un comportement spongieux. Dans ce cas, il s'agit de terre organique, ne convenant pas à la construction.

• Essai de ruban

Cet essai est complémentaire de l'essai de cordon. Prendre assez de terre pour en faire un rouleau de la taille d'un cigare de 12 mm de diamètre. Cette terre ne doit pas être collante, mais suffisamment humide pour que l'on puisse, par roulage, en faire un cordon continu de 3 mm de diamètre comme dans l'essai précédent.

Mettre le rouleau dans la paume de la main et, en commençant par une extrémité, l'aplatir en le pressant entre le pouce et l'index de façon à former un ruban de 3 à 6 mm d'épaisseur **(fig. 262)**. Manipuler l'échantillon avec précaution, de façon à obtenir la plus grande longueur possible.

FIGURE 262 : ESSAI DE RUBAN



CRATerre

Mesurer la longueur à laquelle on peut arriver sans que l'échantillon ne casse :

a) longs rubans : avec certains sols, le ruban peut atteindre 25 à 30 cm sans se casser. Cela indique que le sol contient beaucoup d'argile. Il pourra être utilisé mais devra être stabilisé.

b) rubans courts : si l'on arrive, bien qu'avec difficulté, à obtenir un ruban de 5 à 10 cm ; c'est que le sol a une teneur faible ou moyenne en argile. Il sera analogue à ceux qui donnent un cordon mi-dur ou fragile. Cette terre fera certainement de bons murs ;

c) pas de rubans : avec certains sols, on ne peut réaliser de rubans. Ils feront de très bons murs de terre damée.

• Essais de résistance à sec

Ces essais s'effectuent également sur les composants fins du sol. Préparer deux ou trois pastilles de terre molle d'environ 12 mm d'épaisseur et 25 à 30 mm de diamètre. Faire sécher les pastilles au soleil puis au four.

Casser la pastille et essayer de la réduire en poudre entre le pouce et l'index :

a) grande résistance à sec : il est très difficile de casser la pastille, elle se brise avec un claquement, comme un biscuit sec. On n'arrive pas à écraser la terre entre le pouce et l'index. il s'agit là d'une argile presque pure.

b) résistance moyenne : il n'est pas difficile de casser la pastille. Sans trop

d'efforts, on arrive à la réduire en poudre en la pressant entre le pouce et l'index. Il s'agit là d'une argile limoneuse ou sableuse ;

c) faible résistance : la pastille se casse sans problème et se réduit très facilement en poudre. Il s'agit soit d'un limon, soit de sable très fin, soit d'un sol qui contient une faible quantité d'argile.

Le tableau ci-dessus permet de se faire une idée de la possibilité d'emploi des sols testés, en tant que matériaux de constructions.

TYPES DE SOL	ESSAIS AUX SECOUSSES	RESISTANCE A SEC	ESSAI DE CORDON	ESSAI RUBAN	POSSIBILITES D'UTILISATION	STABILISANTS
SOLS ARGILEUX OU LIMONEUX						
Sables très fins Sables fins limoneux Sables fins argileux Limon argileux	Varie de « rapide » à « lente » mais jamais très lente	faible à nulle généralement nulle	cordon fragile ou de résistance nulle	ruban court ou pas de ruban du tout	convient pour tous les types, en particulier l'adobe, si on le stabilise.	ciment le meilleur ; les émulsions de bitume et les produits hydrofuges conviennent.
Limons	Entre « lente » et « nulle »	faible à moyenne	Cordon fragile mi-dur	Ruban court	A ne pas utiliser si possible ; sinon mettre beaucoup de stabilisant	Ciment, émulsions de bitume si le sol n'est pas trop collant, produits hydrofuges conviennent.
Argiles graveleuses Argiles sableuses Argiles limoneuses	de « très lente » à « nulle »	moyenne à grande	cordon mi-dur	ruban court à long	nécessite habituellement un stabilisant ; convient pour la terre damée et les briques compressées	chaux ajouter du sable ou des graviers produits hydrofuges conviennent
Argiles Argiles grasses	nulle	grande à très grande	cordon dur	long ruban	ne doit jamais être utilisé pour construire une maison en terre	
Limons et Argiles Limoneuses avec matières organiques	lente	faible à moyenne	cordon fragile et spongieux	ruban court ou pas de ruban	ne doit jamais être utilisé pour constuire une maison en terre	
Argiles avec matières organiques	très lente à nulle	moyenne à grande	cordon fragile à mi-dur spongieux	ruban court consistance spongieuse	ne doit jamais être utilisé pour construire une maison en terre	
SOLS GRAVELEUX						
Graviers limoneux Mélange de graviers sables et limons	rapide	faible à nulle (en général nulle)	cordon sans résistance	pas de ruban	convient en général si on le stabilise. Si le gravier est presque propre, on peut ajouter d'abord des fines.	ciment le meilleur ; les émulsions de bitume peuvent aussi convenir, produits hydrofuges.
Graviers limoneux mélange de graviers sables et argiles	Lente à très lente	Moyenne	cordon mi-dur	ruban court (parfois long)	Peut convenir très bien pour tous les types de construction en terre. Si le gravier est trop propre on peut lui ajouter des fines.	chaux la meilleure le ciment peut convenir si le mélange se gâche facilement, produits hydrofuges.
Graviers propres					ne convient pas pour la construction en terre. Est utilisable mélangé à des fines.	
SOLS SABLEUX						
Sables limoneux	rapide	faible à nulle (en général nulle	cordon sans résistance	pas de ruban	convient en général, si on le stabilise. Si le sable est presque propre, on peut ajouter des fines.	ciment le meilleur. Le bitume peut convenir également. Produits hydrofuges.
Sables argileux	lente à très lente	moyenne	cordons mi-dur	ruban court (parfois long)	très bon en général pour tous les types de construction en terre.	chaux la meilleure. Le ciment convient si le mélange se gâche facilement. Produits hydrofuges.
Sables propres					ne convient pas pour la construction en terre sauf si on lui ajoute des fines.	

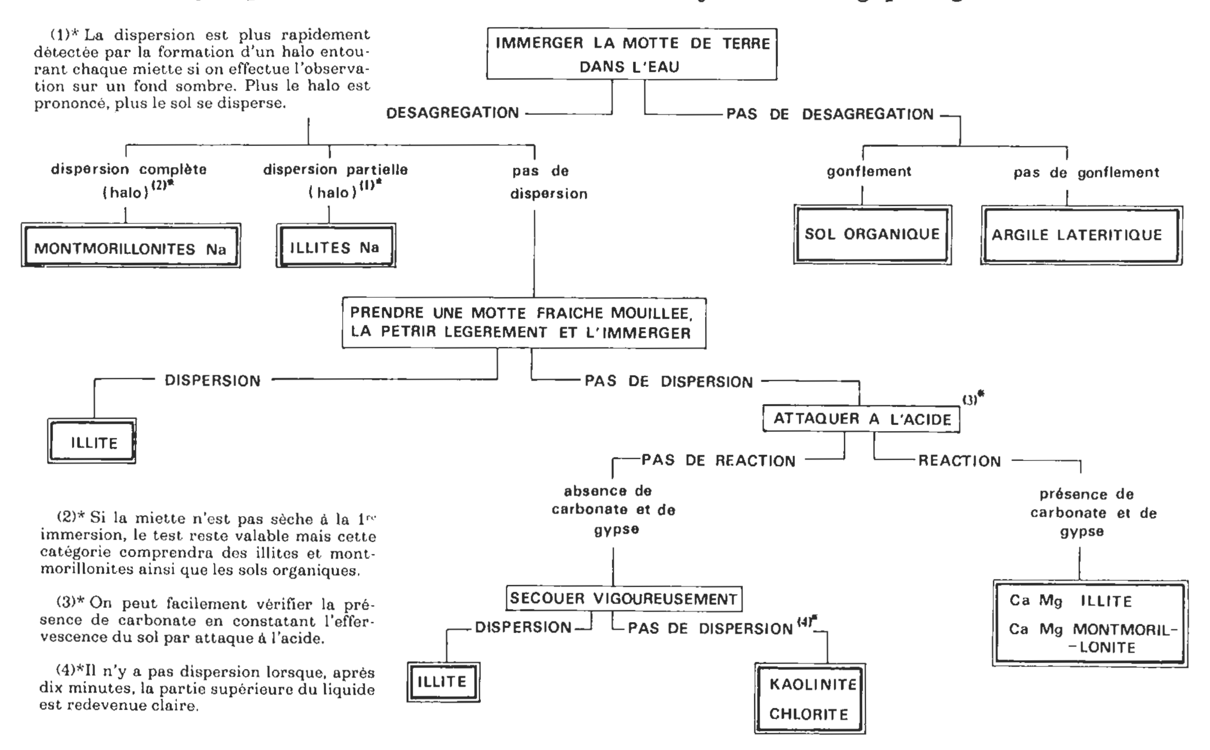
• Source : référence 7

Test d'identification rapide des argiles (test d'Emerson)

Le test proposé par Emerson s'effectue sur un morceau de terre de la taille d'un haricot. On place ce morceau dans un récipient en verre plein d'eau distillée ou d'eau de pluie. Il importe que le morceau de terre n'ait pas été travaillé avant son immersion.

Après dix minutes d'immersion, le morceau de terre peut rester intact ou se désagréger. L'observation de son comportement permet une détermination rudimen-

taire de la nature de l'argile. Ce test que nous n'avons pas personnellement contrôlé, ne saurait en aucun cas remplacer une analyse minéralogique rigoureuse.



(1)* La dispersion est plus rapidement détectée par la formation d'un halo entourant chaque miette si on effectue l'observation sur un fond sombre. Plus le halo est prononcé, plus le sol se disperse.

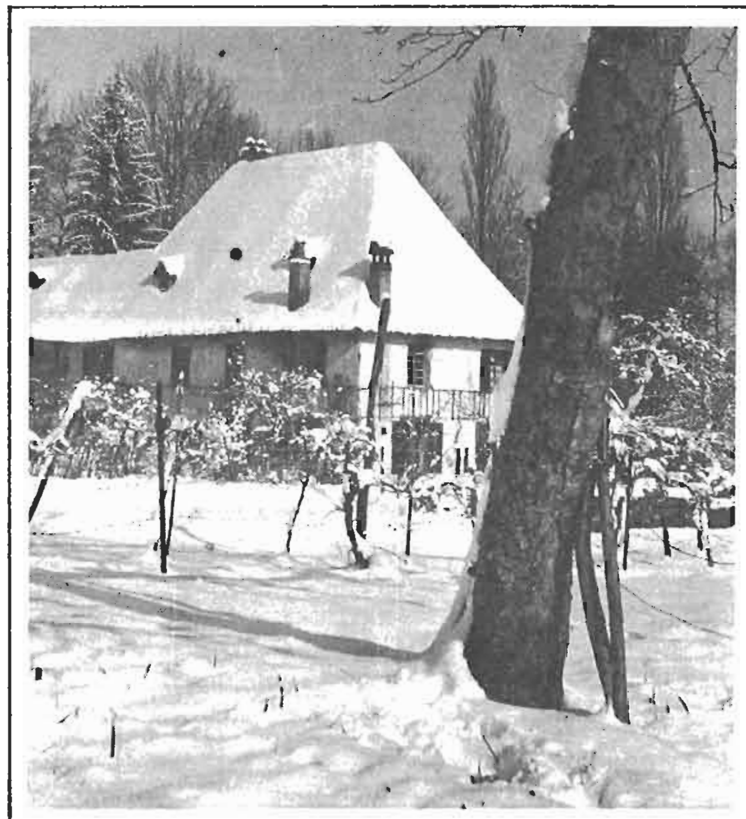
(2)* Si la miette n'est pas sèche à la 1re immersion, le test reste valable mais cette catégorie comprendra des illites et montmorillonites ainsi que les sols organiques.

(3)* On peut facilement vérifier la présence de carbonate en constatant l'effervescence du sol par attaque à l'acide.

(4)*Il n'y a pas dispersion lorsque, après dix minutes, la partie supérieure du liquide est redevenue claire.

Principaux composants des sols et leurs propriétés physiques

Désignation du groupe	Principaux minéraux présents	grosseur des grains	Propriétés physiques
Sable très pur Silice	Quartz	$> 1\ \mu$	Sans cohésion, abrasif
Mica	Muscovite	$> 1\ \mu$	sans cohésion
Carbonate	Calcite Dolomite	variable	
Sulfate	Gypse	$> 1\ \mu$	susceptible d'attaquer cert. ciments
Argiles	Kaolinite	$\approx 1\ \mu$	pas de gonflement plasticité faible peu de cohésion
	Illites et Micas partiellement dégradés	variable	gonflement, plasticité moyenne
	Montmorillonites « bentonites » et interstratifiés	$\leq 1\ \mu$	très gonflante très plastique
	Chlorite Vermiculite	$\approx 0{,}1\ \mu$	gonflement limité
Matières organiques	ne sont pas des minéraux	aucune	dégradation rapide



Dominique Pierre

MAISON EN PISE (ISERE)

6. CARACTERISTIQUES DU MATERIAU TERRE

Il n'existe pas à l'heure actuelle de normalisation pour tous les modes d'utilisation de la terre dans la construction. Seuls, les pays industrialisés ont mis au point des essais précis sur les performances minimales du matériau. Ils concernent l'adobe, et la terre damée stabilisée. Ces normes précisent la résistance minimale et la durabilité du matériau et permettent donc aux entrepreneurs et aux compagnies d'assurance d'apporter les garanties nécessaires dans un cadre de production contrôlée.

Les autres techniques comme le façonnage direct, le pisé et l'adobe traditionnelle ne sont pas normalisées, c'est-à-dire que le constructeur ne dispose pas d'une règlementation précisant leur mode d'emploi, et fournissant en même temps une « couverture » juridique en cas de dégâts. Il existe cependant des recommandations émanant de sources diverses qui peuvent le guider dans son travail.

Caractéristiques générales

Les chiffres avancés sont tirés d'essais expérimentaux effectués par différents organismes (Australie, U.S.A., France, etc.) Ils donnent une idée des performances techniques du matériau, et peuvent servir de base à une conception architecturale. Dans tous les cas, des tests sont nécessaires pour vérifier si les résultats obtenus s'accordent avec ces caractéristiques.
Taux de travail recommandé :
- compression : 2 Kg/cm^2
- traction : 0
- cisaillement : 0,3 Kg/cm^2

Ce qui correspond à une construction d'un seul niveau.

Résistance à la compression

stabilisation au ciment :50 à 100 Kg/cm^2
stabilisation à la chaux : 30 à 80 Kg/cm^2
stabilisation au bitume : 15 à 60 Kg/cm^2
stabilisation aux fibres : 5 à 20 Kg/cm^2
stabilisation aux produits chimiques : 20 à 40 Kg/cm^2
stabilisation aux produits chimiques puissants : 150 à 400 Kg/cm^2

Résistance à la compression humide :
Environ la moitié de la résistance à sec.

Résistance à la traction :
(Essai brésilien), 1/5 de la résistance à la compression.

Module d'Young
7000 à 70 000 Kg/cm^2

Perméabilité :
1 × 10^{-6}cm/seconde.

Retrait linéaire au séchage de la terre damée stabilisée : 2 mm/m.

Retrait linéaire horizontal dû au mortier d'un mur de brique de 30 × 30 × 30 cm = 1,07 à 2mm pour 5 m.

Dilatation thermique :
0,012 mm/m par °C

Caractéristiques thermiques :

coefficient de conduction : 0,44 à 0,57 Kcal/h m °C
chaleur spécifique C = 0,2 Kcal/Kg
coefficient de transmission globale K d'un mur de terre stabilisé :
mur de 20 cm :
– 1,6 Kcal/h m^2 °C 1,3 W/m^2 °C
mur de 30 cm :
– 1,2 Kcal/h m^2 °C 1 W/m^2 °C
mur de 40 cm :
– 1 Kcal/h m^2 °C 0,86 W/m^2 °C
mur de 50 cm :
– 0,8 Kcal/h m^2 °C 0,7 W/m^2 °C
amortissment thermique pour un mur de 40 cm.
m = 10 %
déphasage horaire pour un mur de 40 cm : 8 à 12 heures.

Caractéristiques phoniques
Mur de 40 cm : amortissement pour une fréquence de 500 Hz = 56 dB.

Essais normalisés

Ces essais proviennent du cahier des charges de la construction en adobe stabilisée aux U.S.A.

Essai de compression :
Cet essai se fait sur des éprouvettes cylindriques de 5 cm de diamètre et de 5 cm de haut. Les échantillons sont moulés avec les mêmes caractéristiques que le matériau à tester : moulage humide pour l'adobe, compactage pour le pisé et les blocs compressés.

Après un premier séchage destiné à éviter les fissures de retrait, les éprouvettes sont placées dans une étuve à 66°C jusqu'à ce qu'ils atteignent un poids constant. On assure ensuite le parallélisme des surfaces portantes de l'échantillon en étalant une couche de plâtre sur la face supérieure et

la face inférieure du cylindre. Les éprouvettes sont ensuite testées avec une machine spéciale ou tout autre système équivalent. Les essais sont réalisés sur 5 échantillons et on fait la moyenne. La force exercée sur la machine à tester peut varier de 500 Kg pour les échantillons les plus faibles à 1500 Kg pour les échantillons les plus résistants.

Résistance à la flexion (module de rupture)
Les grands échantillons ou les briques entières, peuvent être testées en flexion. On les dépose sur deux supports parallèles en tubes, espacés de 25 cm. Une charge concentrée est appliquée par l'intermédiaire d'un tube horizontal placé au milieu du bloc à tester, à raison de 250 Kg par minute. On note la charge nécessaire pour rompre la brique. Le module de rupture peut être calculé par la formule suivante :

$$R = \frac{3}{2} \times 25 \times \frac{P}{l \times e^2}$$

R = module de rupture en Kg/cm^2
25 = distance d'appui en cm
l = largeur de la brique en cm
e = épaisseur de la brique en cm

On prend la moyenne des 5 essais pour établir le module de rupture.

Absorption :
Cinq échantillons cubiques de 10 cm de côté sont taillés dans le matériau. On les fait sécher à l'étuve jusqu'à obtenir un poids constant. La perte de poids sera notée (teneur en eau). Après refroidissement, les échantillons sont posés sur une surface poreuse constamment saturée d'eau, dans une atmosphère humide. Au bout de 7 jours on mesure l'augmentation du poids des échantillons, que l'on exprime en pourcentage de poids sec. L'absorption est la moyenne des 5 échantillons.

Erosion :
Un bloc de terre dont la taille importe peu (une brique entière par exemple) est placé sur une grille devant un jet d'arrosage. La brique est verticale, à 17 cm en face d'une pomme de douche, qui l'arrose avec un jet horizontal d'une pression de 1,6 Kg/m^2 pendant deux heures. On peut mesurer la perte de poids de la brique, et la profondeur des trous. La plupart du temps les résultats de ce test ne sont qu'indicatifs, et une légère érosion ou une surface grêlée ne doivent pas être interprétés défavorablement.

Mouillage séchage (ASTM normes D 559-44 et D 560-44)

Confectionner trois éprouvettes A, B et C. A servira pour l'étude des variations de volume et de la teneur en eau, B et C serviront à déterminer la perte de poids du matériau après chaque cycle.

Les éprouvettes sont séchées à l'air et soumises à une série de 12 cycles comprenant :
– 5 heures d'immersion au bout desquelles l'éprouvette A est mesurée et pesée.
– 42 heures de séchage à l'étuve à 60°C.

L'éprouvette A est mesurée et séchée, tandis que les éprouvettes B et C sont brossées (4 coups de brosse aux extrémités, 18 à 20 coups sur les parois). Elles sont ensuite pesées. Le cycle complet ne doit pas excéder 48 heures.

On recommence ce cycle 12 fois de suite puis les éprouvettes sont séchées à 100°C jusqu'à poids constant.

La perte de poids maximum admise après 12 cycles de mouillage est de 10 %.

Normes et recommandations

UBC 1958 (Uniform Building Code U.S.A.). Pour l'adobe stabilisée :
– compression (minimum) : 24 Kg/cm^2
– module de rupture (mini) : 4 Kg/cm^2
– absorption en 7 jours (maxi) : 2,5 % du poids sec
– teneur en eau (maxi) : 4 % du poids sec
– érosion : profondeur moyenne des trous, 0,15 cm
– fissures : pas de fissures de plus de 3 mm de large et de 7,5 cm de long. Pas plus de 3 fissures par brique.

REEF (CSTB) (France 1945) pour la terre damée stabilisée.
- résistance à la compression : 15 Kg/cm²
- taux de travail : murs extérieurs, 1 Kg/cm²
murs intérieurs, 2 Kg/cm².

Recommandations de l'O.N.U. (inter American Housing and Planing Center : CINVA)
- Résistance humide (mini) : 14 Kg/cm²
- Perte de poids après 12 cycles de mouillage-séchage :

- Constructions urbaines : 5 % pour tous climats, 10 % en climat sec
- constructions rurales modestes : 10 % pour tous climats et climat sec.
- murs : le module du mur est défini par le rapport entre la hauteur et l'épaisseur.
- Le module doit rester inférieur à 18
- Coefficient de sécurité sur la résistance à la compression selon le module du mur.

module	coefficient de sécurité
16	41
14	25
10	18
6	12

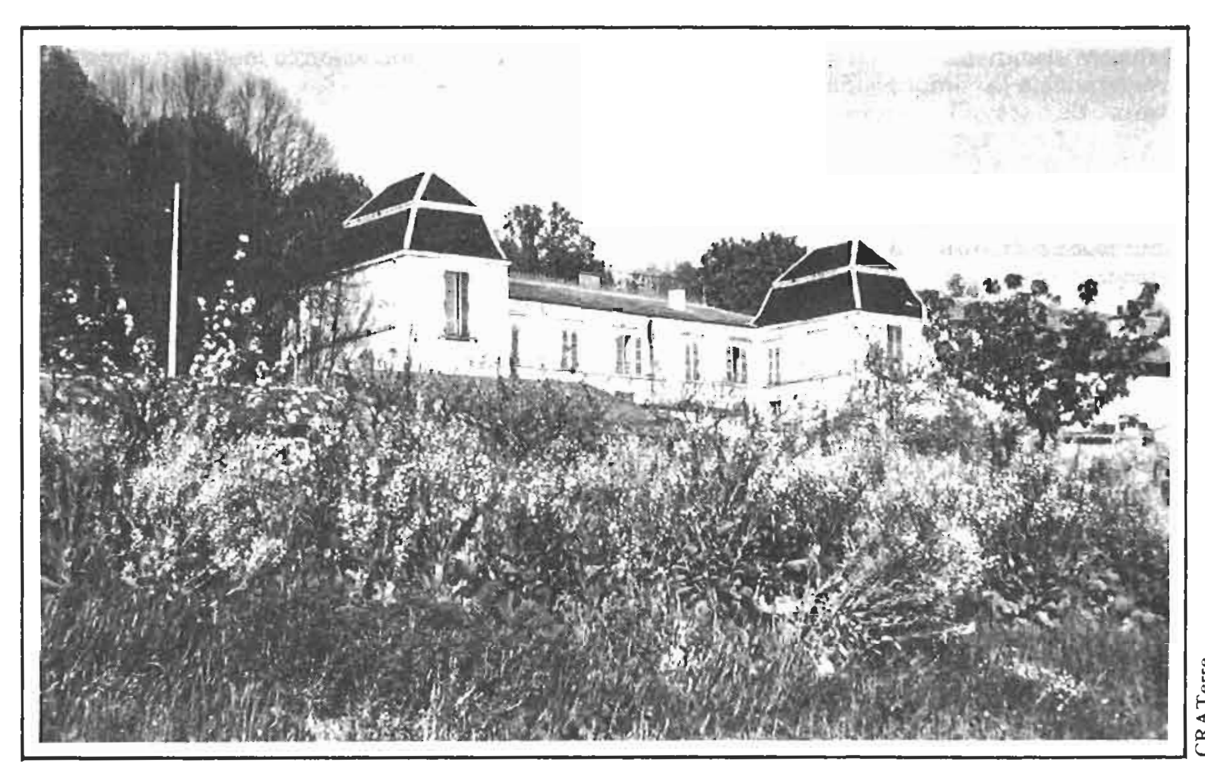
Recommandations pour l'adobe stabilisée (Pérou)
- résistance à la compression :
17,6 Kg/cm² : Bon
17,6 à 14 Kg/cm² : limite
inférieur à 14 Kg/cm² : mauvais
- modules de rupture : 3,5 Kg/cm² : Bon
inférieur à 3,5 Kg/cm² : mauvais.
- absorption : 2 % ou moins : excellent
2 à 3 % : bon
3 à 4 % : passable
4 % et plus : insuffisant.

Recommandations de Middleton (Australie)

Le rapport de l'épaisseur des murs porteurs à leur base sur la hauteur totale ne doit pas être inférieur à 1/18.

Traditionnellement les constructeurs respectaient la règle de ne pas laisser en ouvertures (portes et fenêtres) plus d'un tiers de la surface du mur. Cette règle, un peu simpliste et trop restrictive (sauf dans les zones sismiques), peut être affinée par des données plus sophistiquées. Les murs de terre étant particulièrement vulnérables aux efforts horizontaux causés par le claquement des fenêtres, les jours de grand vent. Le tableau suivant donne les longueurs maximum des murs entre les points de renforts : angles, contreforts extérieurs ou murs de refends.

Pour une épaisseur du mur (en m)	0,30	0,35	0,40	0,45
et hauteur du mur : 1 niveau (en m) comprise entre	2,75/3	3/4	3/5	3/5,5
2 niveaux (en m) comprise entre	4/5	4/6	5/6,7	5/7,3
La longueur maximum entre deux points de renfort d'un mur (en m) sera :				
Mur sans ouverture	9	10,75	12	13,75
Murs avec une ou plusieurs ouvertures ne s'étendant pas à plus de 1,4 m du centre du mur, mesuré horizontalement	7,3	8,5	9,75	11
Murs avec une seule ouverture près d'une extrémité, ne s'étendant pas au delà du centre du mur.	6,5	7,5	8,5	9,5
Mur avec un groupe d'ouvertures ou une ouverture unique jusqu'à 3,6 m de large.	5,5	6,5	7,3	8



CRATerre

CHATEAU EN PISE DANS LA VALLEE DE LA SAONE

7. LA STABILISATION

Construire en terre implique un choix fondamental entre :

1) Utiliser la terre disponible sur place, donc concevoir le projet en tenant compte des propriétés de ce matériau.

2) Se procurer une terre de meilleure qualité.

3) Améliorer les caractéristiques de la terre locale, afin de créer un matériau convenant parfaitement.

Les deux premières solutions, n'étant pas toujours acceptables, cette dernière sera souvent la seule possibilité. Nous appelons STABILISATION DES SOLS, l'ensemble des procédés permettant d'améliorer leurs caractéristiques.

définition et lois

Un procédé de stabilisation peut être défini comme une méthode physique, physico chimique ou chimique permettant à un sol, à une terre, de mieux satisfaire aux exigences qu'impose son utilisation dans un ouvrage. Pour résoudre un problème de stabilisation, il sera donc nécessaire de connaître :

- les propriétés de la terre à traiter
- les améliorations souhaitées
- les produits, matériaux ou procédés utilisables
- les diverses technologies de mise en œuvre
- les exigences de réalisation de l'ouvrage telles que coûts et délais
- les conditions d'entretien de l'ouvrage en service.

On aura obtenu une bonne solution si, partant de ces différentes données, on est à même de proposer le procédé permettant une amélioration sensible des propriétés de la terre à l'aide d'une technologie optimale compatible avec les délais d'exécution, les coûts de réalisation et d'entretien, et les autres impératifs du programme. Tout ceci donne une idée de la complexité du problème et justifierait la rédaction d'un manuel traitant uniquement de la stabilisation. Notre propos sera plus modeste : nous nous contenterons de présenter ici les principales solutions généralement adoptées en les décrivant de façon sommaire.

La stabilisation, utilisée de longue date offre un large domaine d'applications liées au génie civil et, quelque soit l'application concernée elle répond à un nombre réduit d'objectifs :

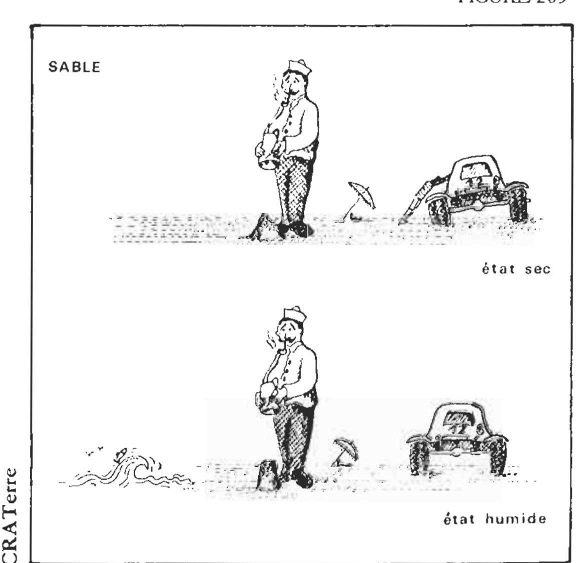
- réduire le volume des vides entre les particules solides (porosité).
- colmater les vides que l'on ne peut supprimer (perméabilité)
- créer des liens ou améliorer les liaisons existantes entre les particules (résistance mécanique).

Ces trois objectifs permettent d'améliorer les caractéristiques mécaniques du matériau et de réduire sa sensibilité à l'action de l'eau : gonflement et retrait, diminution des qualités de cohésion et de rigidité, érosion, gélivité. Il est bien entendu, que les améliorations obtenues doivent avoir un caractère irréversible.

Ces quelques principes sont assez sim plement illustrés par les exemples suivants.

Le sable : Le sable est un matériau pulvérulent. Les grains de sable ont une grande liberté de mouvement : sur la plage un « pâté » de sable sec ne tient pas, un véhicule s'ensable **(fig. 263)**.

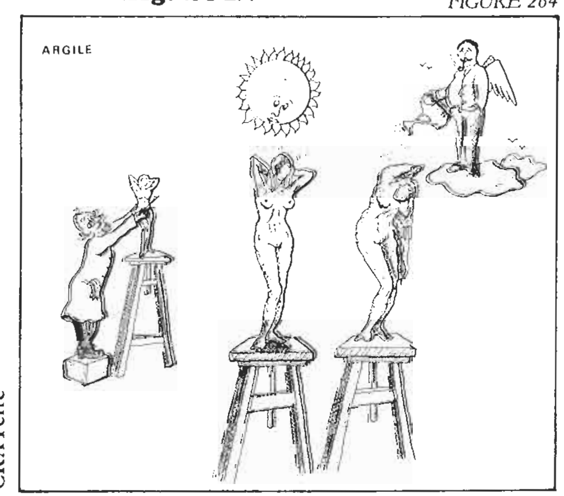
FIGURE 263



Une faible quantité d'eau, crée des liens entre les grains de sable : le sable humide est un matériau cohérent qui permet la réalisation de châteaux « majestueux » et sur lequel les véhicules peuvent circuler, jusqu'à ce que le soleil et le vent en desséchant le sable suppriment la cohésion.

L'argile : contenant une certaine quantité d'eau, l'argile est malléable, plastique et peut se modeler : elle posséde une certaine cohésion. Quand elle sèche, sa cohésion augmente : elle durcit. Une nouvelle humidification produit une perte de cohésion, une érosion **(fig. 264)**.

FIGURE 264



Ces propriétés fondamentales sont exploitées dans les divers procédés de construction en terre. Avec les briques crues on utilise l'accroissement de cohésion de l'argile sèche. Dans le pisé, cet accroissement de cohésion est associé à une limitation du retrait, produite par la présence dans le matériau de granulats (sable et gravier). Dans le B.T.S. (Béton de Terre Stabilisé) la présence d'un liant (ciment, chaux, bitume) tend à rendre irréversible l'amélioration des produits.

Mise en œuvre de la stabilisation

La stabilisation peut être mise en œuvre sur des terres en place ou sur des terres remaniées.

1) Stabilisation des terres en place

Les possibilités sont réduites et n'ont guère permis que l'application de deux procédés : le drainage et l'injection.

1. DRAINAGE

Il consiste à provoquer le départ d'une grande partie de l'eau située entre les particules de sol en évitant son retour ultérieur. Très long à obtenir sur les sols à forte teneur en éléments fins, limons et surtout argiles, c'est pourtant sur ce type de matériau qu'il produit le meilleur effet stabilisant. Le départ de l'eau provoque une contraction du sol et un renforcement des liens entre particules.

2. INJECTION

Elle consiste à remplacer une grande partie de l'eau située entre les particules de sol par un produit qui colmate les vides et doit y demeurer en empêchant le retour de l'eau **(fig. 265)**.

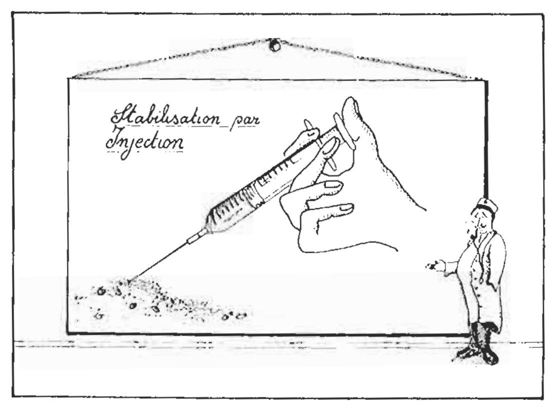
Le produit d'injection doit donc être fluide pour pénétrer dans le matériau. Il faut en outre qu'il « fasse prise ». Si par ailleurs, après la prise, il adhère sur les particules du sol, il produira une bien meilleure stabilisation. Les principaux produits d'injection sont des argiles, essentiellement colmatantes et les chaux et ciments qui bouchent les vides et améliorent les liens entre particules. Ces produits se présentent sous forme de poudres qu'il faut mélanger à de l'eau pour constituer les « coulis » d'injection.

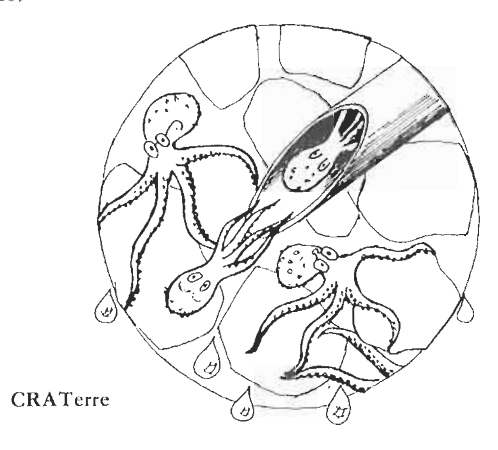
La fluidité des coulis n'étant pas suffisante pour permettre l'injection des sols fins, peu perméables, on utilise pour ces sols, des produits qui, mélangés à l'eau, constituent des coulis notablement plus fluides : il s'agit de silicates et de certaines résines.

2) Stabilisation des terres remaniées

Dans les processus de ce type, la terre doit être extraite en un lieu pour être mise en œuvre en un autre lieu. La succession d'opérations que cela nécessite facilite beaucoup la stabilisation. La construction en terre (digues, pistes, routes, bâtiments) nécessitant la plupart du temps l'utilisation de terres remaniées est donc concernée par ce mode de stabilisation.

FIGURE 265





CRATerre

1. STABILISATION SANS APPORT DE STABILISANT

Elle consiste essentiellement en une réduction de la porosité du matériau par resserrement des particules.

a) **Compactage.** Une action mécanique augmente la compacité du matériau. Cette action peut être :

– statique : rouleaux cylindres. rouleaux à pieds de moutons, rouleaux à pneus... Presses et filières pour la confection des briques.
– dynamique : rouleaux vibrants. Aiguilles et coffrages vibrants. Dames et pisons.
– complexe : projection, pétrissage

L'efficacité du compactage dépend essentiellement de la granularité du matériau et de la nature du compactage. Les procédés statiques sont en général plus efficaces pour les sols riches en éléments fins, alors que pour les sols riches en éléments grossiers la vibration est la plus efficace. C'est ainsi que les presses sont tout à fait adaptées à la confection des briques d'argile, alors que le béton frais, riche en gravier, se densifie bien à l'aide d'aiguilles vibrantes.

L'énergie de compactage et la teneur en eau du matériau sont également des facteurs déterminants. Un essai normalisé a été défini (Essai PROCTOR) afin de déterminer pour les sols, la teneur en eau correspondant à la plus forte compacité. Cette teneur en eau s'appelle l'optimum Proctor.

Le compactage, en réduisant la porosité du matériau, en améliore les caractéristiques. Mais on doit noter que, s'il est le seul procédé de stabilisation utilisé, les améliorations obtenues ne seront pas, pour les matériaux fins, irréversibles. Toute construction en terre se dégrade à la longue sous l'action de l'eau, ce qui oblige à les protéger et montre l'intérêt des produits qui, ajoutés à la terre, réduisent sa sensibilité à l'eau : les stabilisants.

b) **Dessication.** La dessication des matériaux fins, sans compactage, si l'on prend garde d'en limiter les effets nuisibles (fissuration), augmente la cohésion du matériau. Cette propriété nous semble jouer le rôle principal dans les techniques de construction à l'aide de boules ou de briques. Le résultat obtenu correspond à celui que fournirait un faible compactage mais il est nécessaire, pour éviter les fentes de retrait, de limiter la dimension des boules. On voit ici l'intérêt d'un bon compactage qui réduit les risques des fissurations au retrait.

2. STABILISATION AVEC APPORT DE STABILISANT

a)Stabilisants chimiquement inertes.

Il s'agit de matériaux qui, ajoutés à des sols réduisent les effets néfastes du retrait. Ce sont :

– Les sables et graviers dont le rôle favorable bien connu est particulièrement bien exploité dans les pisés.
– Les fibres végétales ou animales, très efficaces, peu chères et aisément utilisables dans la confection de briques.
– Les armatures : bandes de polymères ou d'alliage d'aluminium utilisées dans la confection de talus en « terre armée », et dont il est vrai, le rôle ne se limite pas à une diminution des effets du retrait.

b)Stabilisants physico-chimiques.

Pourles sols argileux un bon compactage est absolument nécessaire et l'adjonction de stabilisants inertes permet toujours d'obtenir un matériau aux caractéristiques mécaniques acceptables. Cependant, ils ne réduisent guère la sensibilité à l'eau sous l'action de laquelle une dégradation du matériau est généralement très rapide. Dans ces conditions, il apparaît très intéressant d'ajouter un stabilisant physico-chimique. L'action de ces produits, toujours complexe et souvent mal connue, ne sera pas abordée en détail ici. Nous citerons les principales conditions de leur efficacité.

Ils doivent être :

– efficaces à basse concentration (moins de 10 % du poids sec de la terre) ;
– incorporables avec un équipement simple. Les produits solubles ou miscibles dans l'eau sont particulièrement intéressants ;
– d'un prix compatible avec l'amélioration obtenue et justifiant le choix de la terre de préférence à un autre matériau ;
– efficaces pour un large éventail de sols. Il faut toutefois dire, que, actuellement **il n'existe pas de « stabilisant miracle »** universel et que **des essais préliminaires sont toujours nécessaires ;**
– efficaces quelle que soit la teneur en eau au moment du traitement ;
– propres à assurer la pérennité de la stabilisation en service et lors des variations climatiques ;
– tels que leur temps de prise ne soit ni trop court ni trop long pour permettre la mise en œuvre et ne pas allonger les délais d'exécution.

3) Principaux stabilisants physico-chimiques

La stabilisation physico-chimique des terres argileuses a pour principal objectif de les rendre insensibles à l'eau. En effet, un bon compactage suffit à fournir des caractéristiques mécaniques non négligeables et

acceptables dans la plupart des utilisations courantes. Quant à l'insensibilisation elle peut en particulier être obtenue à l'aide de produits rendant les argiles moins hydrophiles.

LES HYDROPHOBANTS

a) **Dérivés aminés :** Dérivés de l'ammoniac, ce sont des sels d'ammonium ou des amines en solution dans un solvant organique et que l'on doit disperser dans l'eau (ex : « Aliquad »). Ils sont efficaces à de très faibles teneurs : 1 % et moins.

b) **Résines :** La justification la plus habituelle de leur utilisation est de concevoir la formation dans le sol d'une matrice résistante due à la polymérisation de la résine. A cet effet de cimentation s'ajoute très souvent une réduction de la sensibilité de la terre à l'eau, ce qui justifie leur place au sein des hydrophobants. On peut utiliser :

– Les résines abiétiques, qui peuvent provenir des résidus du traitement du bois au cours de la fabrication de la pâte à papier.

– La résine d'aniline furfural et la résine de résorcinol-formaldhéhyde dont le rôle essentiel demeure la cimentation.

Bien que leur action soit assez mal connue, les résines sont dignes d'intérêt, car elle sont actives à faible concentration. Par ailleurs, souvent dérivées de substances végétales, on peut envisager de les produire et de les utiliser dans des régions où les autres stabilisants devraient être importés.

c) **Bitumes et hydrocarbures :** On peut utiliser pour la stabilisation les émulsions du bitume et les bitumes fluidifiés (cutbacks).

LES LIANTS

Dans la stabilisation physico-chimique des sols faiblement argileux, donc peu sensibles à l'eau et ayant une faible cohésion, on cherchera à ce que les propriétés du produit utilisé (appelé liant) deviennent prépondérantes par rapport à celles du sol. Les liants pourront également être utilisés sur des terres argileuses lorsque l'on désire obtenir des caractéristiques mécaniques exceptionnelles.

Chaux aériennes :

a) **Chaux vive et chaux hydratée :** Utilisée pour la stabilisation des sols fins argileux, les chaux, pour des teneurs de 4 à 10 %, produisent dans la plupart des cas une forte amélioration des propriétés mécaniques du matériau. C'est ainsi que la résistance à la compression peut aisément être multipliée par 4 ou 5. L'emploi de chaux vive rend possible l'utilisation de terres ayant, à l'extraction, une teneur en eau excessive. En effet, en présence de l'eau du sol, la chaux vive se transforme en chaux hydratée (extinction), ce qui réduit d'autant la teneur en eau du matériau. On peut ainsi éviter une opération de séchage du sol. Le durcissement de la chaux ne se produit que dans l'air, nécessitant la présence de gaz carbonique, il ne peut pratiquement pas avoir lieu à l'intérieur des murs ou des blocs compactés. L'adjonction de produits secondaires, aux propriétés pouzzolaniques (pouzzolanes, laitier, cendres volantes...) confère une certaine hydraulicité à la chaux et permet, à peu de frais, une augmentation très sensible des résistances mécaniques.

b) **Chaux hydrauliques et ciments :** Ces liants, pour des teneurs de 4 à 10 % conduisent, sur les terres sableuses, à des caractéristiques très élevées. Leur hydraulicité naturelle rend inutile l'adjonction de produits pouzzolaniques. Le matériau obtenu par stabilisation du ciment offre finalement peu de points communs avec la terre qui a fait l'objet du traitement. L'adjonction de produits secondaires tels la soude, le sulfate de sodium, le métasilicate de sodium, peut, pour certains sols, améliorer encore le traitement au ciment. Par contre, la présence dans le sol de matières organiques ou de sulfates est nuisible à l'action de certains ciments.

c) **Lignosulfites :** Ces produits dérivés de l'industrie des pâtes à papier se comportent également comme un liant. Plus économiques selon les régions que les ciments, ils sont en outre efficaces pour des teneurs de 1 à 2 %. Il présentent l'inconvénient de perdre leur résistance en présence d'eau. On peut cependant les fixer par l'adjonction de sels (chromo-lignine).

d) **Silicate de sodium :**Utilisé en association avec un réactif dans les techniques modernes d'injection, le silicate de sodium constitue, sous l'action de ce réactif, un gel qui procure à certains sols argileux une cohésion additionnelle.

e) **Bitumes :** Utilisés de préférence sous forme fluidifiée, les bitumes, essentiellement hydrophobants pour les sols argileux, ont sur les sols sableux un rôle de liant.

f) **Résines :** Les résines d'origine végétale présentent, à côté de leur action hydrophobante une action de liaison. Les résines synthétiques peuvent également constituer, en polymérisant, d'excellents liants. Mais il s'agit là de produits très souvent onéreux et qu'il est nécessaire d'utiliser à des teneurs pratiquement aussi élevées que les ciments.

4) Quelques conclusions

Pour les matériaux argileux, la stabilisation physico-chimique apportera essentiel-

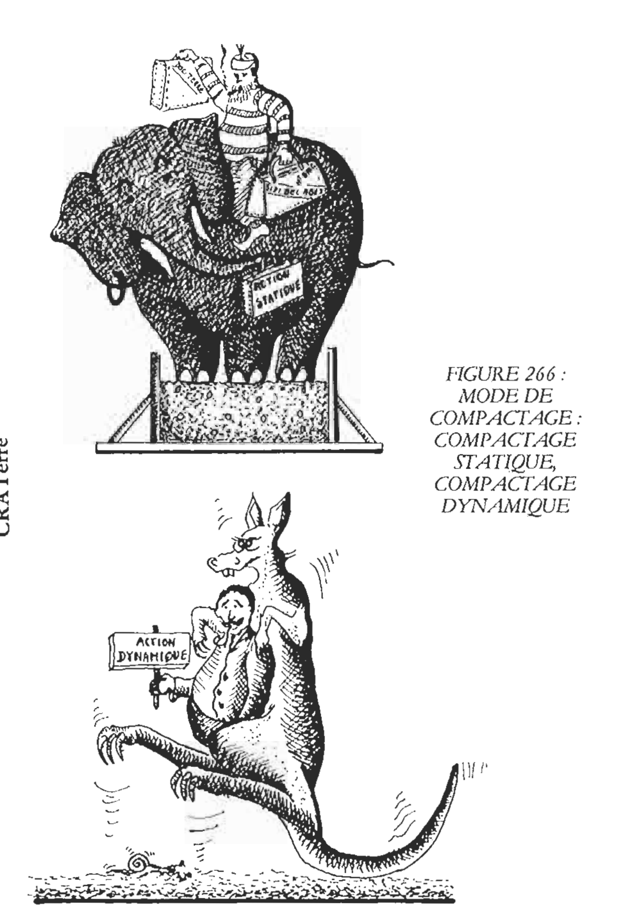


FIGURE 266 : MODE DE COMPACTAGE : COMPACTAGE STATIQUE, COMPACTAGE DYNAMIQUE

lement une insensibilisation à l'eau et elle pourra être obtenue à l'aide d'hydrophobants extrêmement variés, souvent d'origine végétale et dont certains ne sont assurément pas encore connus comme tels. L'étude de la faisabilité de la construction en terre doit, à notre avis se faire au plan régional et comporter un recensement complet des ressources naturelles et des sous-produits de l'économie locale. Ceci devrait permettre assez souvent la découverte de stabilisants efficaces, bon marché et de production locale.

Pour les matériaux sableux l'amélioration des qualités mécaniques nécessite l'usage de liants. Il pourra en être de même, pour les matériaux argileux si on recherche des caractéristiques mécaniques exceptionnelles. Les liants utilisables sont les ciments, les chaux, les bitumes, et éventuellement, les résines. Toutefois, des liants locaux peuvent là encore, mais plus exceptionnellement à notre avis que pour les hydrophobants, se révéler à l'occasion d'une étude préalable.

Enfin il existe de nombreuses incompatibilités qui interdisent, pour certaines terres argileuses l'utilisation de stabilisants efficaces pour d'autres. Voilà pourquoi il n'existe pas de stabilisant universel.

FIGURE 267 : COMPORTEMENT DE DIFFERENTS MELANGES – JUSTE APRES DEMOULAGE (COHESION) – APRES QUELQUES ANNEES (RESISTANCE AUX INTEMPERIES – EAU – GEL – DESSICATION)

argile
granulats
argile granulats
ciment
argile granulats ciment
granulats ciment
J'attends
longtemps après
CRATerre

En pratique et compte tenu de ce qui précède, la résolution d'un problème de stabilisation doit apporter les justifications objectives conduisant au choix d'un produit et à la définition du processus de sa mise en œuvre. Le produit doit être efficace, disponible, compatible avec le sol à traiter, l'ouvrage que l'on se propose de réaliser, les conditions de chantier et les moyens dont on dispose, en matériel et en personnel.

Le processus prend en compte principalement, quatre groupes de facteurs :

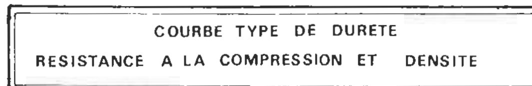
- la nature et la composition du sol ;
- les proportions de sol, de stabilisant et d'eau ;
- la méthode de moulage : par coulée, pétrissage, vibration, chocs ou pression statique ;
- les conditions physiques telles que : durée et température de cure, délai de moulage etc.

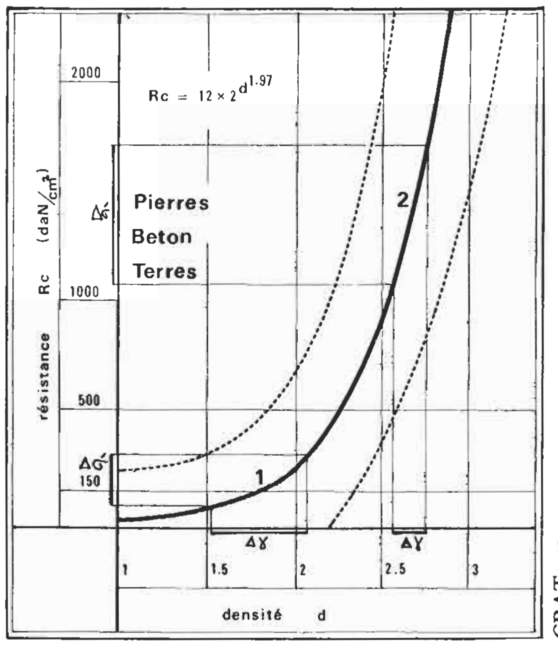
pratique de la stabilisation

I. Amélioration par densification

On constate, pour tous les matériaux, une relation très nette entre la densité sèche et la résistance mécanique. Celle-ci est d'autant plus élevée que le matériau est compact. C'est ainsi que, pour une même composition et un même dosage, un béton est d'autant plus résistant qu'il est dense ; de même les pierres les plus denses ont les résistances mécaniques les plus élevées. C'est également le cas pour les terres ; toutefois pour ces dernières, les densités que l'on peut obtenir demeurent relativement faibles la **figure 268** représente qualitativement l'évolution de la résistance en compression σ' en fonction du poids spécifique sec γd pour ces trois familles de matériaux. L'analyse de ces courbes montre tout l'intérêt que représente un accroissement de γd , particulièrement pour les fortes valeurs de densité : pour une augmentation $\Delta \gamma$ de même valeur, le gain de résistance $\Delta \sigma'$ est bien plus important en (2) qu'en (1).

FIGURE 268





CRATerre

Les pierres dures et compactes possèdent naturellement une densité donc une résistance suffisante ; on pourra en extraire des blocs, directement pour la construction. Les terres, moins résistantes, friables, ne permettent pas généralement le découpage de blocs incorporables dans la construction (faible résistance mécanique, sensibilité à l'eau, etc.). On les extrait donc par des procédés mécaniques (pelles) qui les remanient, les fragmentent et le matériau obtenu est alors foisonné et n'offre pas de résistance mécanique. Pour lui conférer des caractéristiques intéressantes, il est alors nécessaire de le compacter.

Les pierres très tendres (grès sableux, limoneux) peuvent toutefois être remaniées, triturées, puis faire l'objet d'un compactage, éventuellement avec l'apport d'un stabilisant ; tandis que les terres naturellement résistantes (latérites, argiles compactes...) peuvent être extraites sous forme de blocs directement utilisables dans des éléments de construction ne requérant pas une résistance supérieure à celle de la terre en place (tel est, également, le cas de la neige servant à la construction des igloos).

Ceci montre l'importance de la connaissance des matériaux naturels disponibles

(terre et pierres) pour le choix d'un système de construction : il est absolument nécessaire de procéder avant toute chose, à une reconnaissance approfondie des ressources locales en matériaux naturels.

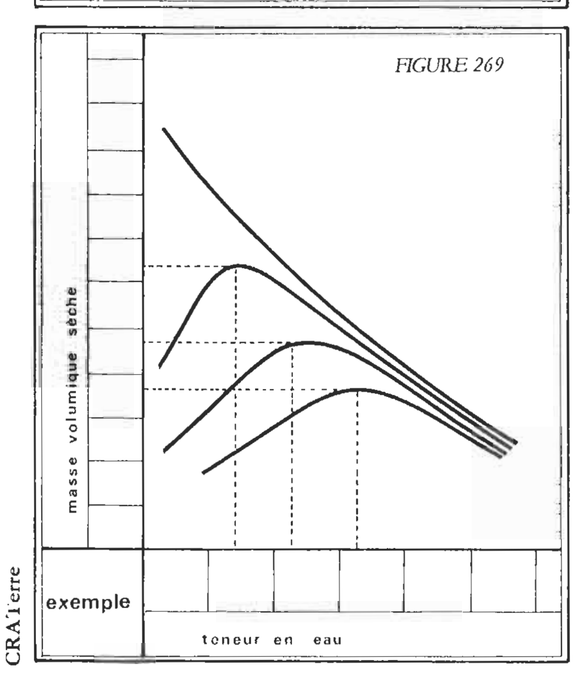
Pour ce qui est de la construction en terre, on dispose en général de terre remaniée qui devra donc être compactée. La qualité du compactage conditionnera fortement les propriétés du matériau obtenu, que l'on utilise ou non un produit stabilisant. L'aptitude au compactage d'une terre est évaluée habituellement à l'aide de l'essai PROCTOR, essai développé dans le chapitre « analyse des sols », elle est définie comme suit : pour une énergie de compactage donnée, il existe une « teneur en eau optimale » (T.E.O.) qui permet d'obtenir une densité sèche maximale.

1) Les paramètres du compactage

a) ENERGIE DE COMPACTAGE

Quelque soit le type de terre et la méthode de compactage, une plus grande énergie de compactage diminue la Teneur en Eau Optimale et conduit à une plus grande densité sèche, comme le montrent les courbes classiques de compactage **(fig. 269).**

ENERGIES DE COMPACTAGE

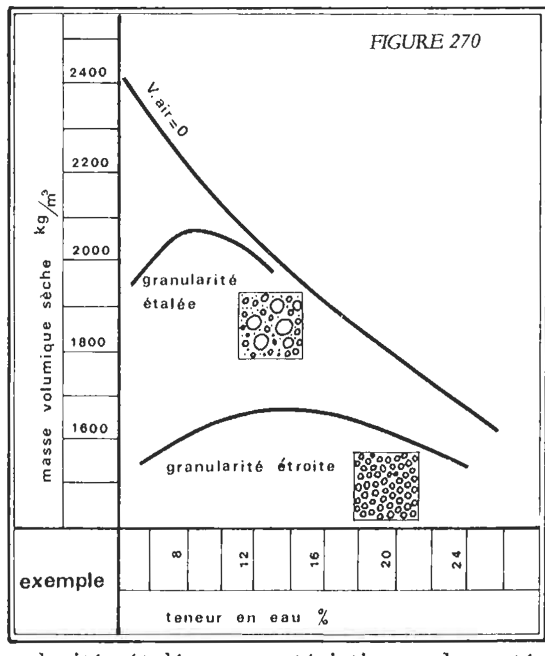


Toutefois, de trop fortes énergies de compactage peuvent produire des phénomènes annexes nuisibles à la qualité du matériau. Ainsi à la presse, les très fortes pressions amènent souvent un « délitage » des blocs fabriqués.

b) GRANULARITE DU SOL

Les granularités étroites ne permettent pas d'atteindre une forte compacité : la courbe de compactage est aplatie avec un maximum peu accentué **(fig. 270).** Les granularités étalées, caractéristiques de matériaux dont les grains ont des grosseurs variées, donnent par contre, des courbes de compactage à maximum accentué : la compacité obtenue est meilleure. Un mélange d'éléments fins et grossiers devrait donc permettre l'obtention de produits compactés plus denses que ceux obtenus avec des sols exclusivement composés d'éléments fins. C'est bien ce que l'on constate par exemple lorsqu'on ajoute des graviers à du mortier **(fig. 271).**

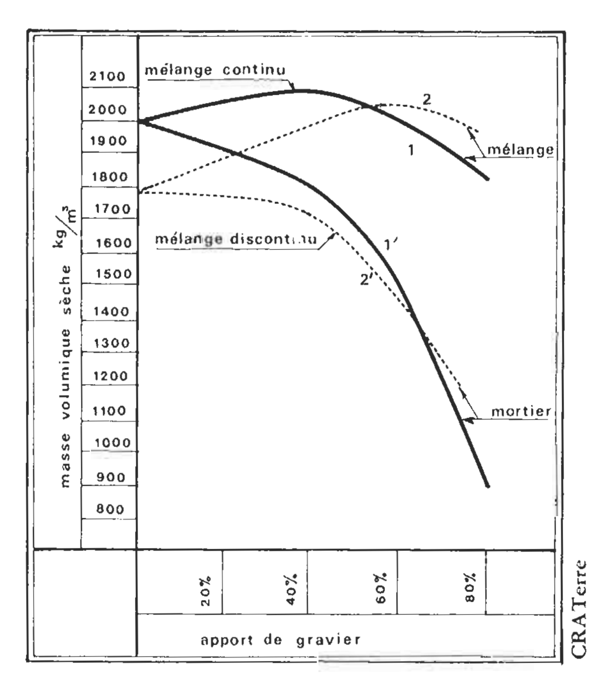
INFLUENCE DE LA GRANULARITE



Le phénomène est particulièrement sensible pour des ajouts de gravier compris entre 30 et 50 % du poids de mortiers (courbes 1 et 2), surtout lorsque le mélange a une granularité discontinue (courbe 2). Parallèlement, il faut noter que l'apport d'éléments grossiers (ou leur présence naturelle dans le sol) provoque, pour des conditions analogues de compactage, un abaissement de la compacité du mortier inclus dans le mélange (courbes 1′ et 2′), puisque dans les terres compactées, le matériau fin est le principal facteur de cohésion et de résistance mécanique ; il faut donc se garder de rechercher une forte compacité du mélange

si elle doit être obtenue au détriment de la compacité du mortier. La **figure 271** montre donc tout l'intérêt d'un mélange conte-

FIGURE 271 : COMPACITES D'UN MELANGE MORTIER-GRANIER



nant de 20 à 30 % d'éléments grossiers. Cette composition conduit à un gain appréciable de compacité du mélange compacté tout en garantissant une bonne compacité du mortier.

C) LIMITES D'ATTERBERG

Il y a corrélation entre les limites d'Atterberg d'une part et densité sèche et Teneur en Eau Optimale PROCTOR d'autre part. Les abaques empiriques **(fig. 272 et 273)** donnent, à titre indicatif, ces relations. La T.E.O., toujours inférieure à la limite de plasticité, augmente avec elle et avec la limite de liquidité ; dans le même temps, la masse volumique sèche diminue.

2) Les effets du compactage

Le compactage a pour effet principal un resserrement des particules de la terre qui se traduit par :
- l'augmentation du nombre de contacts entre les grains du sol.
- la diminution de la proportion de vides, c'est-à-dire de la porosité du sol.

Pour les argiles, la petitesse des grains et leur grande surface spécifique leur confè-

FIGURE 272 : LIMITES D'ATTERBERG ET T.E.O.

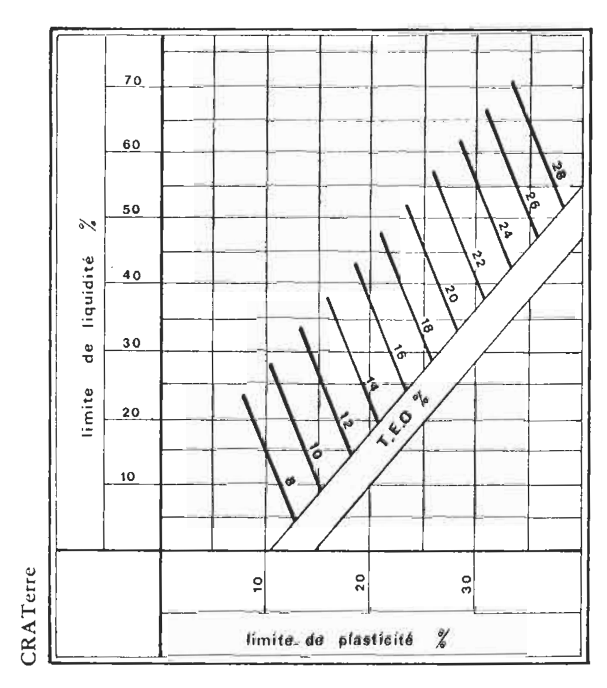
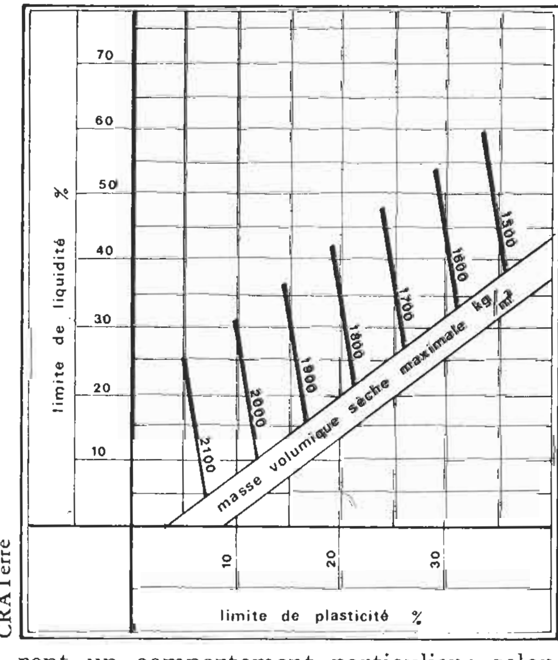


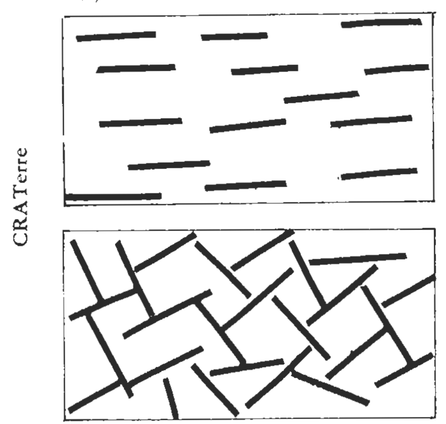
FIGURE 273 : LIMITES D'ATTERBERG ET DENSITE



rent un comportement particulier : selon l'importance relative des forces d'attraction et de répulsion, on observe deux types fondamentaux de structure :
- la structure dispersée correspond à la prédominance des forces de répulsion : les plaquettes d'argile, maintenues à distance les

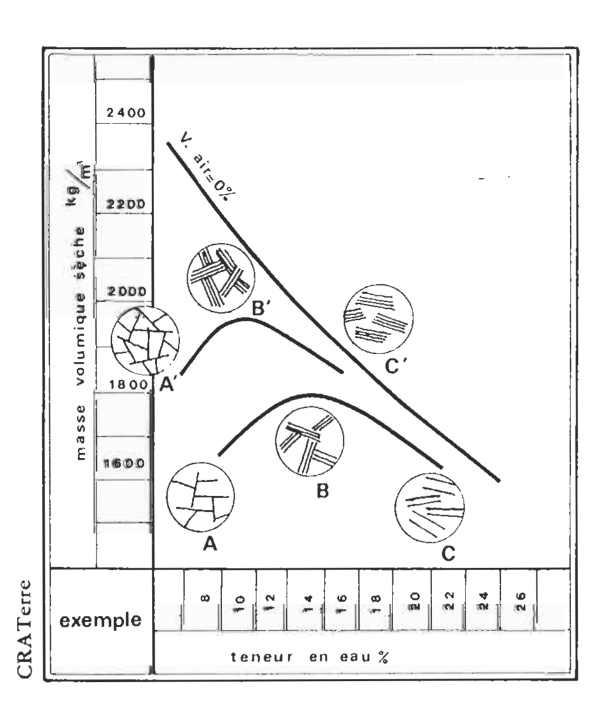
unes des autres, tendent à être parallèles entre elles.
– la structure floculée correspond à la prédominance des forces d'attraction : les plaquettes d'argile se rapprochent et forment entre elles des angles importants **(fig. 274).**

FIGURE 274 : EN HAUT, STRUCTURE DISPERSEE. EN BAS, STRUCTURE FLOCULEE



Dans ces conditions, les effets du compactage diffèrent sensiblement selon la structure : l'état floculé correspond généralement aux faibles teneurs en eau, cependant que l'état dispersé est caractéristique des teneurs en eau élevées. En particulier, le long d'une courbe de compactage, la structure sera plutôt dispersée à droite de l'optimum et plutôt floculée à gauche **(fig. 275).** En A, les particules se rapprochent et

FIGURE 275 : STRUCTURE



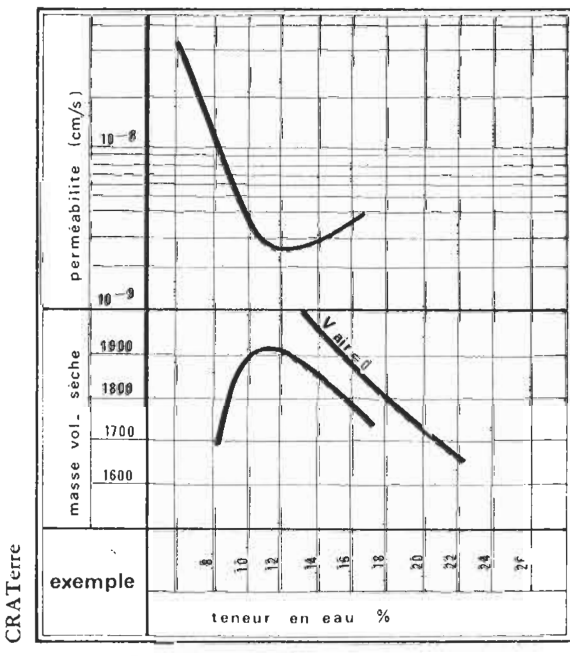
tendent à floculer ; quand la teneur en eau augmente, elles se dispersent et s'arrangent de façon plus ordonnée (B et C). L'optimum de compactage apparaît donc comme un état pour lequel les forces d'attraction demeurent suffisantes pour permettre une bonne compacité, cependant que les forces de répulsion facilitent un certain arrangement ordonné des particules. En pratique, si l'on est certain de pouvoir disposer de l'énergie de compactage prévue, il est préférable de compacter à gauche de l'optimum, du côté sec.

Les effets d'un compactage effectué dans de bonnes conditions se traduisent par une diminution de la perméabilitié, de la compressibilité, de l'absorption d'eau et du gonflement d'eau en ambiance humide et par une augmentation des résistances mécaniques initiales (au démoulage) et à long terme. Certaines de ces améliorations sont favorisées par un compactage du « côté sec », alors que d'autres le sont par un compactage du « côté humide ».

A) PERMEABILITE (fig. 276)

La perméabilité est minimale pour la teneur en eau optimale de compactage et elle augmente fortement lorsqu'on compacte du « côté sec ».

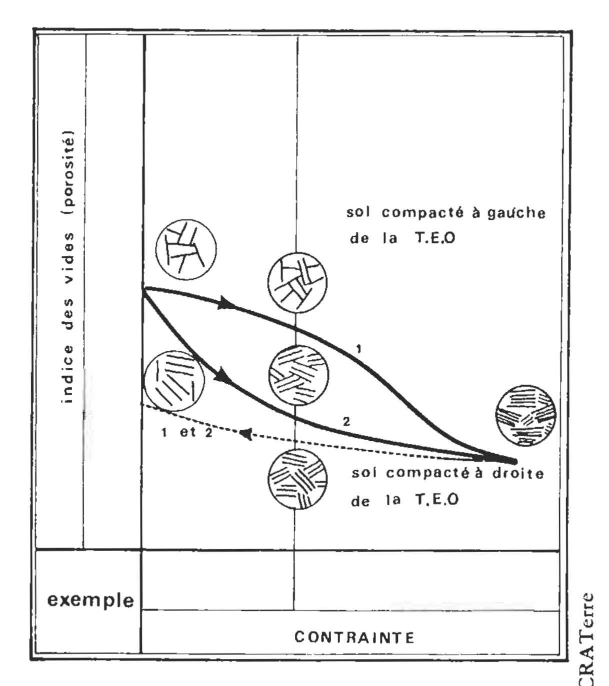
FIGURE 276 : PERMEABILITE ET T.E.O.



B) COMPRESSIBILITE (fig. 277)

Tant que la contrainte exercée ne dépasse pas une certaine valeur, un matériau à structure floculée est beaucoup moins compres-

FIGURE 277 : COMPRESSION - DECOMPRESSION



sible (courbe 1) qu'un matériau de même nature et de même compacité initiale à structure dispersée (courbe 2). Si la pression devient suffisante pour permettre le réarrangement des particules, les deux matériaux tendent vers le même état dispersé et la compressibilité devient identique. A la décompression, le matériau gonfle (courbes 1 et 2). Ce gonflement, s'il est trop important, produit un délaminage (on l'observe sur des blocs réalisés à la presse avec des pressions trop élevées, par exemple). Il est donc conseillé de limiter la pression du moulage à 40-60 daN/cm^2.

C) ABSORPTION D'EAU ET GONFLEMENT EN AMBIANCE HUMIDE

L'absorption d'eau est d'autant plus importante que le matériau compacté se trouve à l'état floculé ; elle est moindre pour l'état dispersé. Il en est de même pour le gonflement produit par cette absorption. Donc on peut dire qu'un matériau destiné à travailler en milieu sec devra être compacté du « côté sec » de préférence, alors qu'un matériau devant travailler en milieu humide, devra être compacté à une teneur en eau plus élevée que la T.E.O., du « côté humide ».

D) RESISTANCE MECANIQUE INITIALE

La résistance initiale, juste après compactage, conditionne la rapidité du démoulage et la manipulation des blocs ; elle constitue donc un paramètre important et est maximale pour un compactage réalisé « côté sec ».

E) RESISTANCE MECANIQUE A LONG TERME

Elle est directement liée à la densité sèche du matériau, ce qui amène à compacter à la T.E.O. ou à une teneur en eau voisine.

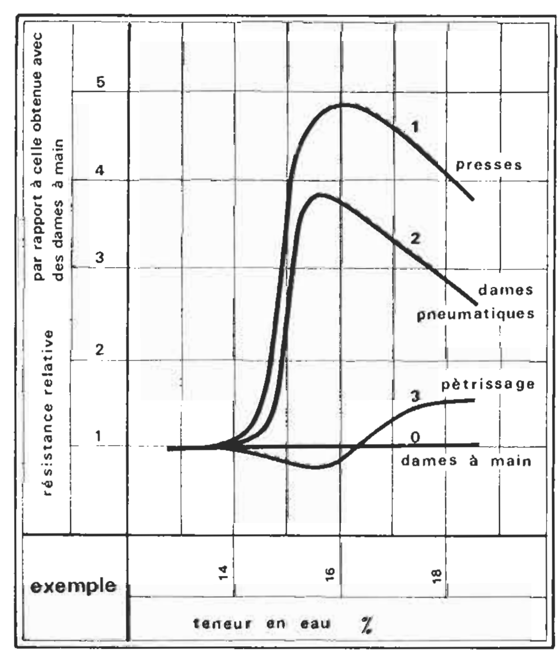
F) COMPACTAGE TROP POUSSE

lorsque la terre atteint un état proche de la saturation, l'incompressibilité de l'eau rend illusoire l'action d'un surcroît de compactage : le compactage n'a alors plus d'effet sur l'arrangement des particules. En outre, dans une presse à brique, une pression trop élevée n'améliore pas la compacité et peut bloquer le mécanisme de la machine.

3) Incidence du mode de compactage

La méthode de densification influe fortement sur la résistance finale du matériau, la **figure 278** représente qualitativement ce

FIGURE 278 : RESISTANCES POUR UNE DEFORMATION DE L'ECHANTILLON DE 5%



que peut être cette incidence du mode de compactage. Sur cette figure, on appelle résistance du matériau la contrainte de compression produisant une déformation de l'éprouvette égale à 5 %. On obtient les meilleurs résultats par compactage à la presse et avec des dames pneumatiques effectuées du côté humide. Les résistances peuvent

être 3 à 5 fois plus élevées, que celles obtenues avec des dames à main.

4) Conclusions

Le compactage entre pour une part essentielle dans le succès de toute méthode de stabilisation. Il suffit même souvent, à lui seul, à résoudre un problème de stabilisation. Il ne faut cependant pas oublier que les améliorations obtenues par le compactage s'annulent, pour la plupart, en ambiance humide (immersion).

Comparaison des avantages et des inconvénients d'un compactage réalisé avec une teneur en eau supérieure ou inférieure à la T.E.O.

Propriétés	Commentaires		Appréciations		
	côté sec TE < TEO	côté humide TE > TEO	sec	TEO	humide
STRUCTURE arrangement des particules	– structure désordonnée (floculée)	– structure organisée (dispersée)	+	+	–
	– plus de gonflement	– moins de gonflement	–	+	+
	– plus d'absorption	– moins d'absorption	–	+	+
PERMEABILITE	– plus perméable – perméabilité variant beaucoup avec la compacité	– moins perméable – perméabilité variant peu avec la compacité	–	+	+
COMPRESSIBILITE	– plus compressible aux fortes pressions	– plus compressible aux faibles pressions	+	+	–
RESISTANCE					
– immédiate après démoulage	– plus élevée	– moins élevée	+	–	–
– finale	– moins élevée que pour la T.E.O.	– moins élevée que pour la T.E.O.	–	+	–
DENSITE	– moins élevée que pour la T.E.O.	– moins élevée que pour la T.E.O.	–	+	–
MODE DE COMPACTAGE	– Le compactage à la presse ou avec dame pneumatique donne de meilleures résistances finales que le compactage type Proctor avec une dame à main.				

II) Amélioration par correction de granularité

Les sols disponibles peuvent parfois présenter des caractéristiques susceptibles d'amélioration au moyen d'apports ou de coupures granulaires ; c'est ainsi que l'on peut corriger une teneur trop forte ou trop faible en fines ou en gravillons. Un sol trop plastique pourra ainsi être amélioré par un apport de sable, cependant qu'un sol trop peu plastique le sera par apport de fines. (Voir les variations de plasticité (limites d'Atterberg) d'un mélange sable-argile pour différentes proportions de sable et d'argile – **fig. 256** –)

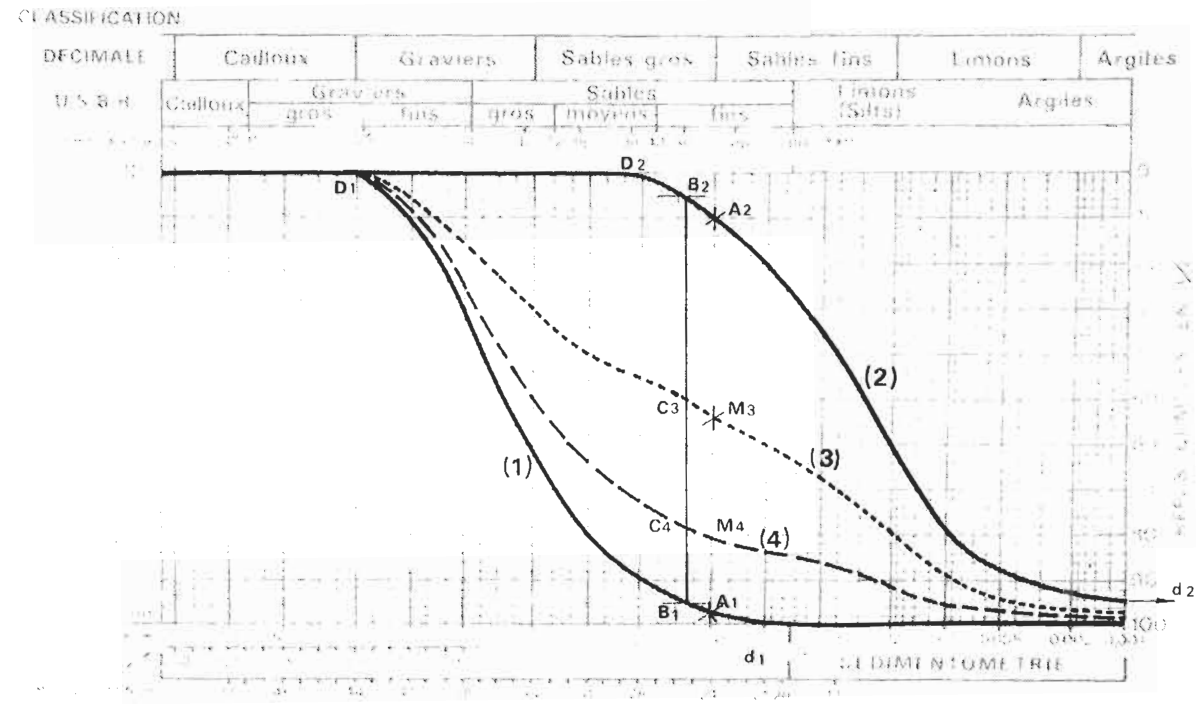
1) Mélange de sols

(fig. 279)

Si l'on dispose de deux sols (1) et (2), de granularité d_1/D_1 et d_2/D_2 avec D_1 supérieur à D_2 et d_1 supérieur à d_2 les mélanges de ces deux sols auront une granularité d_2/D_1, et leurs courbes granulométriques seront « comprises » entre les courbes (1) et (2).

La courbe d'un mélange composé de m %

FIGURE 279 : DETERMINATION DE LA COURBE DE MELANGE DE DEUX SOLS.
– EN TRAIT PLEIN : LES DEUX SOLS DE DEPART
– EN TRAIT POINTILLE : LES MELANGES



(3) = Mélange 50% de (1) et 50% de (2)

(4) = Mélange 80% de (1) et 20% de (2)

de (1) et de n % de (2) sera telle que :

$$\frac{MA_2}{MA_1} = \frac{m}{n}$$

Pour une grosseur de grains donnée, M est situé sur la courbe de mélange, A_2 sur la courbe (2) et A_1 sur la courbe (1). Les valeurs de MA_2 et MA_1 sont lues en pourcentage sur l'échelle des ordonnées.

Par exemple, pour 0,2 mm et la courbe de mélange (4) on lit sur le graphique :

$$\frac{M_4\,A_2}{M_4\,A_1} = \frac{70{,}4}{17{,}6} = \frac{m}{n} = \frac{80}{20}$$

Il en est ainsi pour toutes les grosseurs de grains comprise entre D_1 et d_2.

Un mélange (4) composé de 80 % de sol (1) et de 20 % de sol (2) contient bien 19,6 % d'éléments inférieurs à 0,2 mm. En effet 100 kg de ce mélange contiennent 80 kg de sol (1) soit 0,02 × 80 = 1,6 kg d'éléments inférieurs à 0,2 mm et 20 kg de sol (2) soit 0,9 × 20 = 18 kg d'éléments inférieurs à 0,2 mm.

Remarque : La droite joignant B_1 [point à 5 % de passant sur la courbe (1)] à B_2 [point à 95 % de passant sur la courbe (2)] coupe la courbe de mélange en un point C dont l'ordonnée lue en pourcentage de passants est très proche de n % : 22 % dans le cas du mélange (4) composé de 80 % de sol (1) et 20 % de sol (2) – 50 % pour le mélange (3).

2) Composition d'un mélange à granularité optimale

Pour un usage spécifique, les courbes granulaires des sols ayant la granularité optimale sont situées à l'intérieur d'un fuseau granularité. Lorsque la courbe d'un sol n'est pas, en totalité ou en partie, située dans le fuseau, il est possible, par mélange avec un autre sol riche des éléments manquants au premier, d'obtenir un produit satisfaisant. La **figure 280** montre quelques exemples de ce procédé.

a) **sol contenant une trop forte proportion de gros éléments (fig. 280 a).**

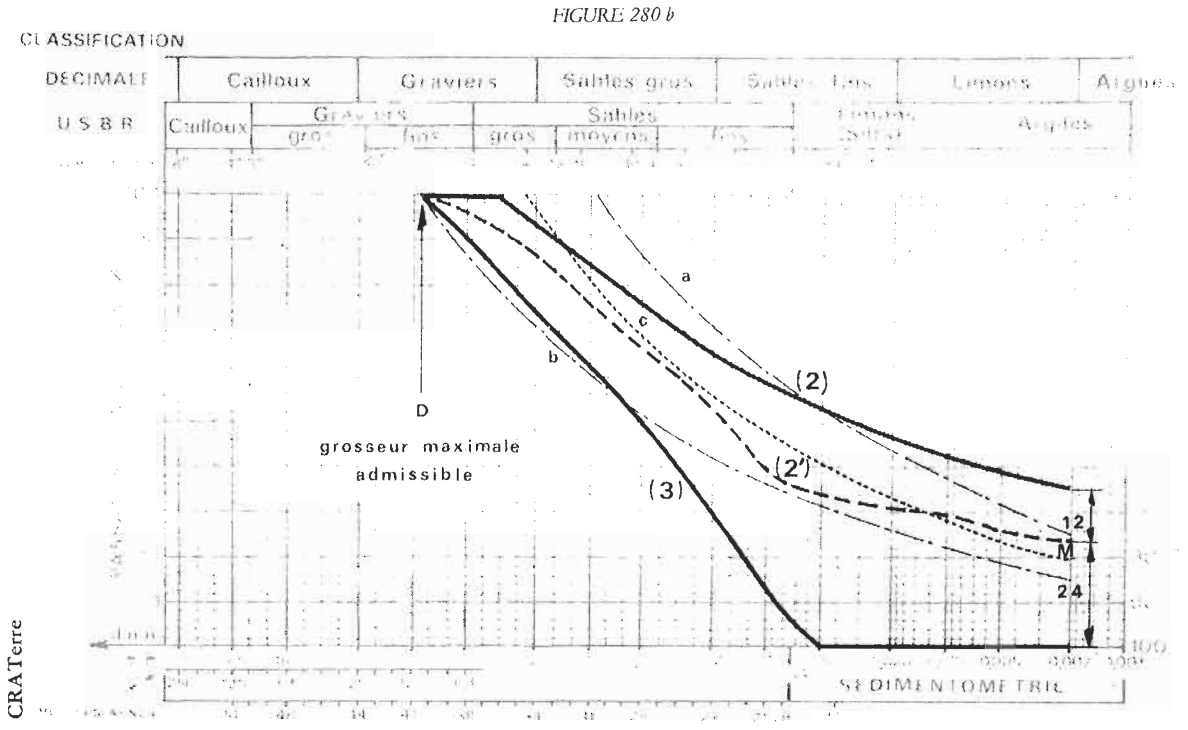
Pour ramener le sol (1) à une granularité acceptable il suffit de lui faire subir un tamisage en enlevant les éléments trop gros. Un tamisage à 10 mm est donc suffisant pour produire un sol dont la courbe granulométrique est comprise dans le fuseau (1). On enlève 14 % d'éléments supérieurs à 10 mm ce qui relève d'autant la courbe 1. Un tami-

FIGURE 280 a : DETERMINATION DES PROPORTIONS DE MELANGE, POUR ESSAYER, PARTANT DE SOLS DIFFERENTS, D'OBTENIR UNE TERRE SE SITUANT DANS LE FUSEAU LIMITE DU PISE.
– EN TRAIT PLEIN : LES DEUX SOLS DE DEPART
– EN TRAIT FIN POINTILLE : LE FUSEAU LIMITE DU PISE ET LA COURBE IDEALE
– EN POINTILLE GRAS : LA COURBE DE MELANGE

CLASSIFICATION
DECIMALE | Cailloux | Graviers | Sables gros | Sables fins | Limons | Argiles
U.S.B.R. | Cailloux | Graviers gros, fins | Sables gros, moyens, fins | Limons (Silts) | Argiles
(1')
(1)
0
100
SEDIMENTOMETRIE

CRATerre

FIGURE 280 b



CRATerre

sage à 2 mm fournirait un sol corrigé, plus fin mais toujours contenu dans le fuseau.

b) sol contenant une trop forte proportion d'éléments fins (fig. 280 b)

Un sol de ce type (2) peut être amélioré en enlevant des fines par lavage, par exemple. Il s'agit d'une technique difficile à contrôler qui risque d'enlever la totalité des fines. Il est alors possible de laver entièrement une certaine quantité de sol et de réaliser un mélange du sol initial avec le sol lavé. C'est là un procédé à mise en œuvre délicate, par conséquent, nous préférerons si possible effectuer un mélange du sol initial avec un sol plus grossier, ne contenant ni fines ni éléments de taille supérieure à la grosseur D maximale admissible. On pourra, par exemple corriger le sol (2) par un ajout de sol (3). La courbe de mélange « comprise » entre les courbes (2) et (3) sera nécessairement dans le fuseau pour les grosseurs supérieures à 0,5 mm, le choix des proportions du mélange permettra de l'y amener pour les plus petites grosseurs. Le fuseau spécifiant que la teneur en éléments inférieurs à 0,002 mm ne doit pas dépasser 24 % (point M), la courbe de mélange devra donc recouper l'ordonnée 0,002 mm en M ou en dessous. La courbe (2) représente un mélange contenant 24 % d'inférieur à 0,002 mm et composé de 24 parties du sol (2) pour 36–24 = 12 parties du sol (3). Contenue dans le fuseau elle est, de ce fait, acceptable.

c) Sols trop grossiers ou trop fins dont les courbes sont extérieures au fuseau (fig. 280 c).

Il est nécessaire de mélanger un sol grossier et un sol fin. Ce cas peut être traité en tenant compte de la remarque faite ci-dessus (paragraphe : mélange des sols). Il suffit de tracer à l'intérieur du fuseau la courbe de granularité optimale (c) et de déterminer son intersection avec la droite joignant le point à 5 % de passant du sol grossier et le point à 95 % de passant du sol fin. L'ordonnée de ce point nous donne le pourcentage du sol le plus fin à mélanger au sol grossier pour obtenir un mélange dont la granularité se rapproche de la granularité optimale (courbe 6). Dans cet exemple, le mélange est un peu riche en graviers et une correction complète est toujours possible.

d) Sol à granularité discontinue (fig. 280 d)

La courbe (7) caractérise un sol ne contenant pas d'éléments compris entre 2 mm et 0,2 mm. Il est donc nécessaire de lui ajouter un sable riche en éléments de cette grosseur. La courbe (9) représente un mélange constitué de 30 % de sol (7) et de 70 % de sable limoneux (8). Il est légèrement pauvre en argile, et un apport de 60 % seulement de sable limoneux aurait conduit à une meilleure granularité.

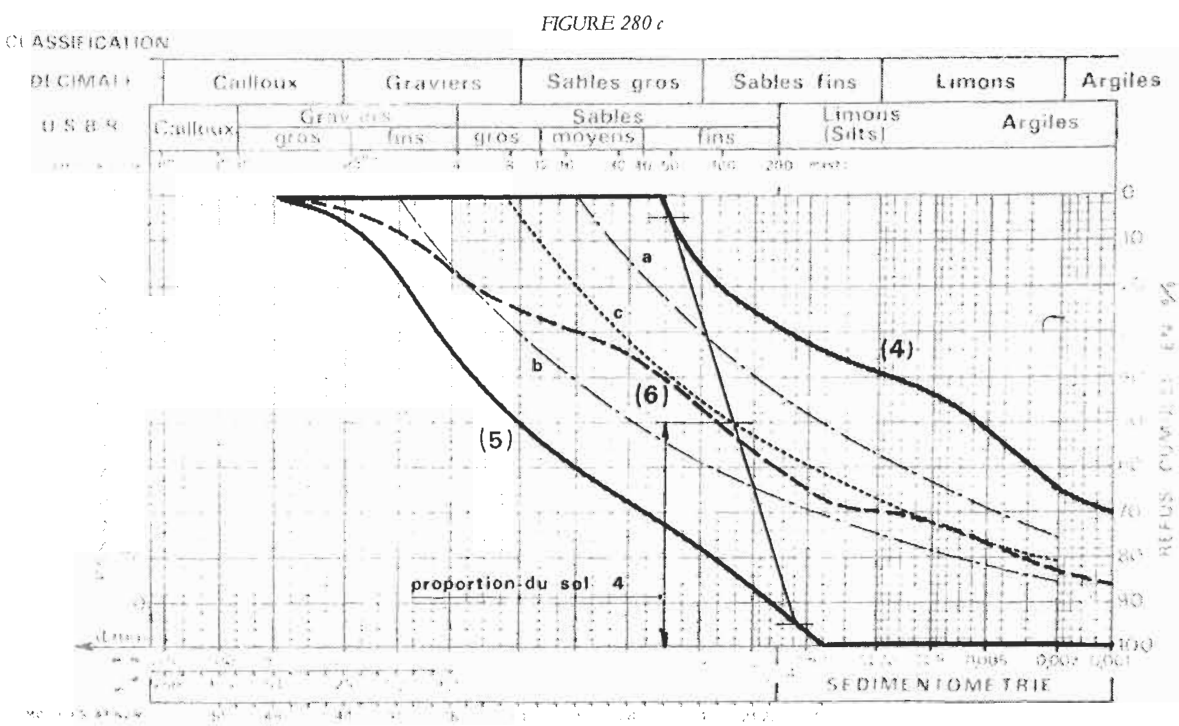
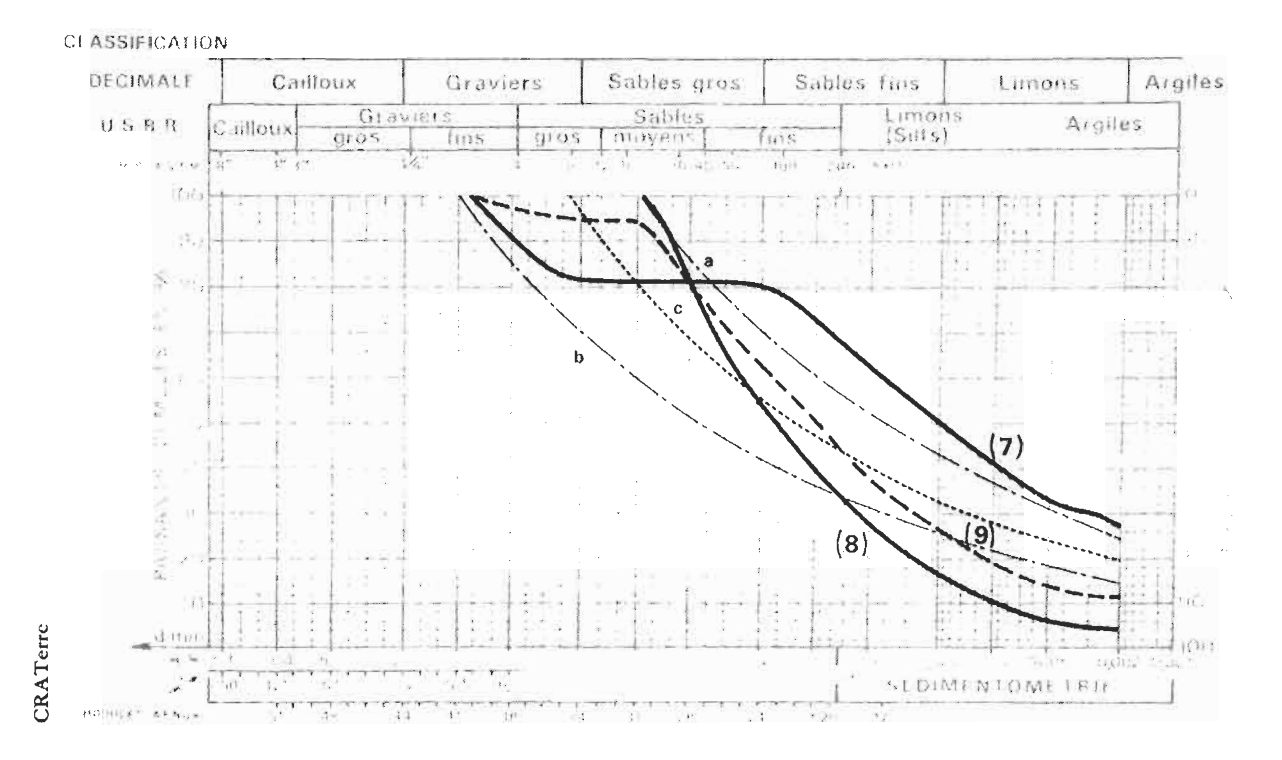


FIGURE 280 c

FIGURE 280 d



CRATerre

stabilisation physico-chimique

Avoir une bonne terre ou en « fabriquer » une par corrections granulaires et effectuer un moulage correct (compactage ou moulage humide) sont les deux points indispensables à la bonne réalisation de tout ouvrage de terre remaniée. Bien conçus et correctement exécutés ils assurent en effet l'obtention d'un matériau aux qualités optimales. En complément, l'incorporation à la terre de produits destinés à améliorer encore les propriétés du matériau et surtout à garantir dans le temps le maintien de ces propriétés peut présenter de l'intérêt.

Nous commençons par les stabilisants les plus usuels : ciments, chaux et bitumes. Employés depuis l'antiquité, ils permettent la confection de produits stabilisés qui, en de nombreuses parties du monde, sont des matériaux de construction classiques. C'est ainsi que les applications routières en sont universelles et font l'objet d'études et de recherches très poussées. En ce qui concerne l'habitat, peu d'études approfondies ont été menées à bien, mais l'expérience des réalisations pratiques et l'analyse des résultats concernant les applications routières permettent de dégager un grand nombre de conclusions. Nous nous devons de préciser toutefois, que la complexité des phénomènes physico-chimiques en cause et l'extrême variété minéralogique des terres, argileuses surtout, obligent à considérer certaines de ces conclusions avec la plus grande circonspection. L'expérience et la littérature nous apportent en effet régulièrement des observations et des résultats venant modifier, voire infirmer, les éléments antérieurs de connaissance.

Le ciment

L'addition de ciment, avant compactage, permet l'obtention d'un matériau aux caractéristiques améliorées et dont la sensibilité à l'eau est réduite. Des additifs secondaires, ajoutés au ciment peuvent entre autre accentuer certaines propriétés. L'amélioration des caractéristiques mécaniques, par exemple, très forte pour les sables et graviers (mortiers et bétons) est plus réduite pour les sols cohérents argilo-limoneux (sol-ciment). Le comportement d'un sol-ciment est donc assez semblable à celui d'un sol de même nature, compacté dans les mêmes conditions mais, par contre, le ciment rend irréversible le grain de résistance dû au compactage. On peut admettre que la présence de ciment crée, entre les plus grosses particules du sol (sables et limons particulièrement) des liaisons mécaniquement résistantes même lorsque le matériau se trouve, ultérieurement, mis en présence d'eau. Il conserve ainsi les caractéristiques que le compactage lui a données. On imagine aisément qu'un compactage mal fait ou une mauvaise granularité, en n'assurant qu'un nombre restreint de contacts entre particules de sol, puisse rendre totalement inefficace l'addition de ciment. La stabilisation n'aura, dans ce cas, conduit qu'à une dépense inutile, et le matériau se dégradera rapidement.

LES CONSTITUANTS

1. LES CIMENTS

Les ciments ordinaires PORTLAND ou analogues sont en général amplement suffisants et il est contre-indiqué d'utiliser des ciments à haute résistance. Ils coûtent en effet plus cher, et leur emploi en stabilisation n'apporte pas d'amélioration spéciale. De plus ils sont, pour la plupart, très sensibles à l'éventement, ce qui rend encore plus illusoire leur utilisation surtout sur de petits chantiers éloignés des lieux de fabrication du ciment. Nous préconisons donc par ordre de préférence l'emploi de ciments portland de classe 250 ou 325 (C P A 250 – C P A 350). Les C P A avec constitutants secondaires : laitier (C P A L), cendres (C P A C) et pouzzolanes (C P A Z) de classes analogues peuvent également être utilisés, bien qu'en général, C P A L et C P A C ne se rencontrent qu'à proximité des sources de laitier (sidérurgie) et de cendres (cen-

Conformément aux nouvelles normes, on ne distingue plus que quatre types de ciments : CPA sans constituants secondaires (jusqu'à 35 %, ce qui y rattache l'ancien CPF) ; CHF et CLK. Le CMM disparait.

En ce qui concerne la stabilisation il faut noter dans les nouveaux ciments une augmentation de la teneur en éléments fins non actifs (fillers) ce qui est susceptible de modifier l'effet stabilisant. Des études doivent donc être entreprises afin de déterminer s'il y a lieu de modifier les proportions de ciment à ajouter aux terres.

CATEGORIE DE CIMENTS D'APRES LEUR COMPOSITION

ANCIENNES NORMES	NOUVELLES NORMES
CPA = Clinker + Gypse Insolubles ⩽ 3 %	**CPA** = Clinker ⩾ 97 % Filler ⩽ 3 % — **Gypse en plus**
Ciments à const. secondaires dérogés CPAL, CPAC, CPAZ, CPALC, etc. **Classe 400** 15 % ± 5 % de const. sec. **Classe 325** 25 % ± 5 % de const. sec. **CPF** Laitier 30 % ± 5	**CPJ** Clinker ⩾ 65 % Const. sec. ⩽ 35 % — **Gypse en plus**
CMM Laitier 50 % ± 5	
CHF Laitier 70 % ± 5	**CHF** 60 à 75 % de laitier Le reste = Clinker + Filler (⩽ 3 %)
CLK Laitier ⩾ 80 %	**CLK** Laitier ⩾ 80 % Le reste = Clinker + Filler (⩽ 3 %)

trales thermiques). Les ciments à trop forte teneur en constituants secondaires, très délicats quand à la cure, seront rejetés (ciment portland de fer CPF ; ciment de hauts-fourneaux CHF ; ciment métallurgique mixte CMM ; ciment de laitier au Clinker CLK).

2. LA TERRE (fig. 281-282)

La terre doit posséder après façonnage une bonne cohésion naturelle, c'est-à-dire que la teneur en argile doit être suffisamment élevée : supérieure à 10 %. Elle doit également contenir un squelette minéral (sables-graviers) assurant une action efficace du ciment. Ce seront donc les graves et sables, limoneux et argileux, qui offriront les meilleures possibilités et conduiront aux meilleurs matériaux stabilisés. Par ailleurs, certains constituants peuvent avoir une action physico-chimique parfois néfaste sur l'action du ciment. Tels sont les matières organiques, les sulfates, les oxydes et hydroxydes métalliques.

• Matières organiques

Elles sont naturellement présentes dans la partie superficielle du sol (terre végétale) ainsi que dans les terrains riches en débris végétaux (tourbe). Certains auteurs considèrent que, pour une utilisation sans stabilisants, la présence dans la terre d'une faible teneur en matières organiques peut présenter un caractère bénéfique.

Ils invoquent, par exemple, certaines réactions avec le fer, présent par ailleurs. Dans le cas d'une stabilisation au ciment, leur présence est reconnue comme nocive : elles retardent la prise et provoquent une baisse de résistance. Il est certain, par ailleurs, que tout autant que la teneur en matières organiques, la nature de celles-ci conditionne leur action sur le ciment et sur le sol-ciment. Certaines matières organiques semblent en effet n'avoir que peu d'effets sur le sol-ciment, et il faut noter d'autre part que des additifs secondaires tel le chlorure de calcium ($CaCl_2$) sont susceptibles d'en neutraliser la nocivité.

En règle générale, et tant que des connaissances plus sûres n'auront pas été acquises, il conviendra de rejeter les terres contenant des matières organiques. Nous pensons qu'une teneur supérieure à 1 % constitue un risque, et qu'il ne faut pas utiliser de terre en contenant plus de 2 %.

CLASSES DE RESISTANCES

Désignation de la classe	Sous-classe éventuelle	Résistances à la compression (en MPa) à 2 jours : limite inférieure nominale	à 28 jours : limite inférieure nominale	à 28 jours : limite supérieure nominale
35	—	—	25.0	45.0
45	—	—	35.0	55.0
	R	15.0	35.0	55.0
55	—	—	45.0	65.0
	R	22.5	45.0	65.0
T.H.R.	—	30.0	55.0	—

VALEURS MINIMALES GARANTIES
DES RESISTANCES A LA COMPRESSION (en MPa)

Classes	2 jours	7 jours	28 jours
35	—	10.0	25.0
45	—	17.5	35.0
45 R	10.0	—	35.0
55	10.0	—	45.0
55 R	15.0	—	45.0
THR	20.0	—	55.0

• Sulfates

Le sulfate le plus fréquemment rencontré dans les sols naturels est le sulfate de calcium (anhydrite et Gypse) et, en de nombreux endroits on associe sa présence à des dégradations de construction en terre ainsi qu'à des glissements de terrain. Le fort gonflement lié à l'hydratation du sulfate de calcium et sa solubilité sont alors mis en cause. On se doit de le considérer comme particulièrement suspect. En effet, il peut avoir une double action, en détruisant le ciment durci à l'intérieur du sol-ciment, particulièrement lorsque celui-ci est mis en contact avec de l'eau contenant du sulfate dissous (eau sélétineuse) et en augmentant la sensibilité à l'humidité des argiles. Cette dernière action, actuellement mal connue, rend inutile l'emploi d'un ciment résistant aux sulfates, et il semble que des dégradations du matériau stabilisé soient à craindre même pour de très faibles teneurs en sulfates. Nous conseillons une étude spécifique pour les terres contenant plus de 2 à 3 % de sulfates.

• Oxydes et hydroxydes métalliques

Il s'agit essentiellement d'oxydes de fer et d'aluminium dont la teneur excède rarement 5 %, et qui n'ont alors que peu d'effet. Dans les sols latéritiques cependant, qui en contiennent beaucoup, on a pu constater une stabilisation efficace et rapide avec de petites quantités de ciment. Il peut s'agir

CLASSIFICATION

DECIMALE	Cailloux	Graviers	Sables gros	Sables fins	Limons	Argiles

U S B R	Cailloux	Graviers gros	Graviers fins	Sables gros	Sables moyens	Sables fins	Limons (Silts)	Argiles

CHAUX

CIMENT

BITUME

courbe "idéale" (BTS)

fuseau limite "idéal"

SEDIMENTOMETRIE

CRATerre

▲ *FIGURE 281 : FUSEAU DE STABILISATION POUR LE CIMENT, LA CHAUX, LE BITUME, SEULS LES ELEMENTS FINS (INFERIEURS A 0,5 mm) SONT PRIS EN CONSIDERATION*

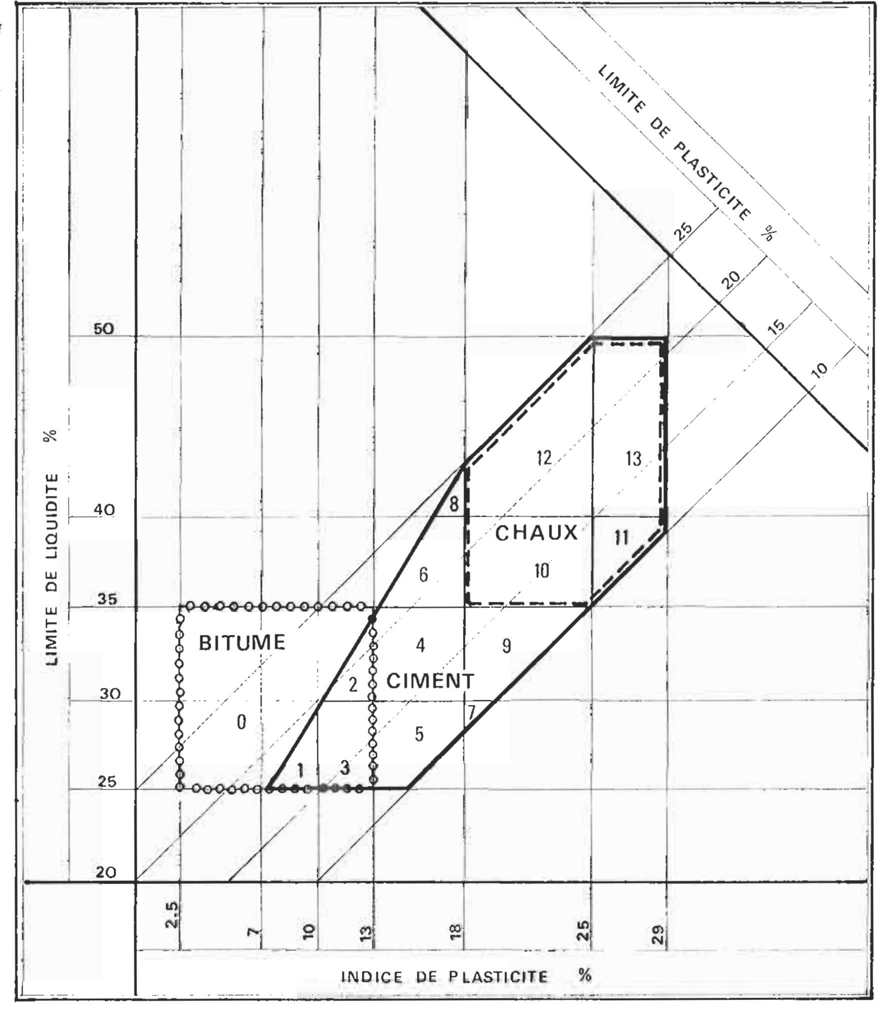


FIGURE 282 : STABILISANTS ET LIMITES D'ATTERBERG ▶

d'une réaction de type pouzzolanique entre la latérite et la chaux contenue dans le ciment. On a constaté, par ailleurs, dans le cas de sols à haute teneur en oxyde d'aluminium, une croissance rapide, suivie d'une très légère baisse de résistance avec l'âge. Cette baisse de résistance demeure faible, et peut avoir une toute autre cause que la teneur en oxyde d'aluminium : un défaut de cure par exemple.

La présence de ces éléments dans la terre apparait donc comme généralement sans effet majeur ; elle peut même éventuellement être favorable.

- **L'eau**

La nature de l'eau de malaxage ne fait pas l'objet de spécifications précises. On rejettera en principe les eaux chargées de matières organiques et les eaux salées, dans la mesure où ces dernières provoqueraient des efflorescences esthétiquement inacceptables. Les eaux riches en sulfates peuvent également constituer un élément défavorable : on se reportera à ce qui a été dit ci-dessus à propos de la présence des sulfates dans la terre. Précisons toutefois qu'une eau, même très salée, n'apportera au mélange qu'une proportion très faible de sels.

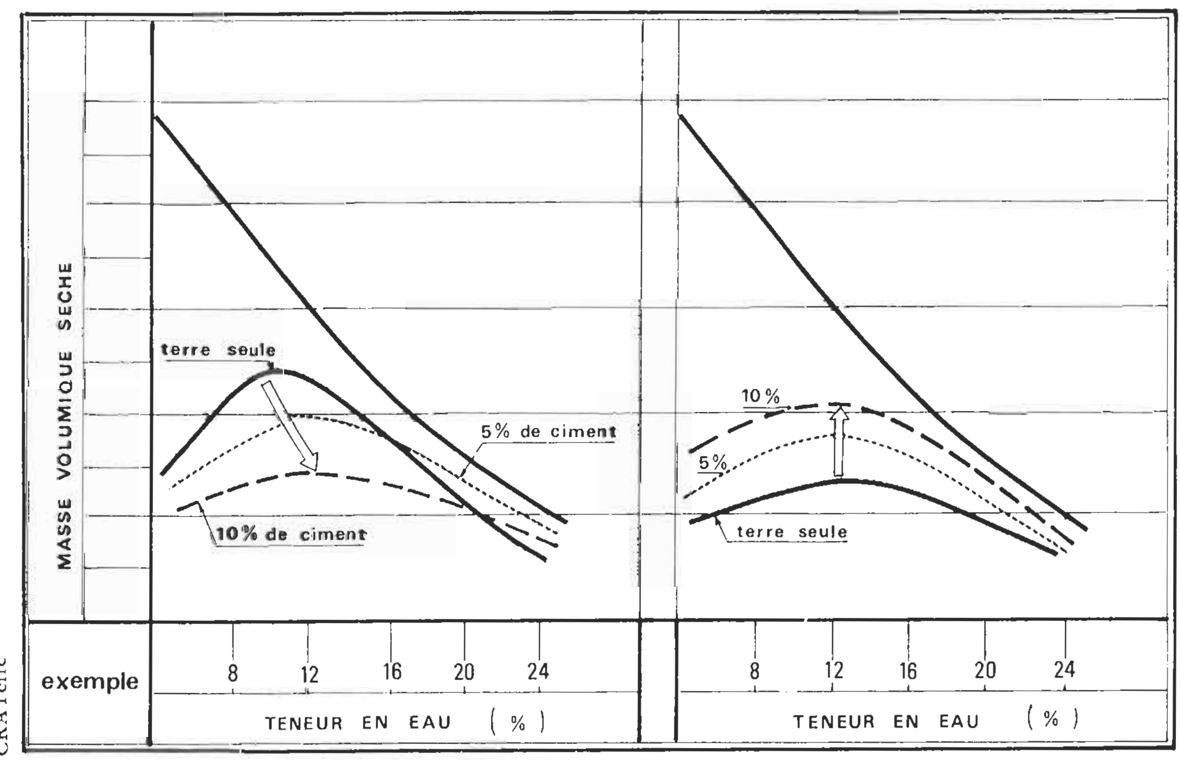
Effets de la stabilisation au ciment

L'apport de ciment a, bien entendu, une incidence sur les propriétés du matériau stabilisé, puisque c'est le but recherché par la stabilisation. Il faut savoir qu'il a également un effet sur les propriétés de la terre, à sa mise en œuvre.

EFFETS DE L'APPORT DE CIMENT SUR LES CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE DE LA TERRE STABILISÉE

Le ciment ajouté à la terre modifie la granularité du matériau, ce qui peut se traduire par un déplacement des courbes de compactage. L'optimum PROCTOR du mélange terre-ciment peut alors être sensiblement différent de celui de la terre. Les ciments comportent environ 80 % d'éléments inférieurs à 80 microns ; selon la quantité de ciment ajouté et la granularité de la terre, l'apport de ciment peut se traduire par une diminution de la densité sèche couplée à une augmentation de la T.E.O. ou bien par une augmentation de la densité sèche sans variation sensible de la T.E.O. **(fig. 283)**. En première analyse, on peut dire que la diminution de densité sèche

FIGURE 283 : INFLUENCE D'ADJONCTION DE CIMENT SUR LA MASSE VOLUMIQUE SECHE



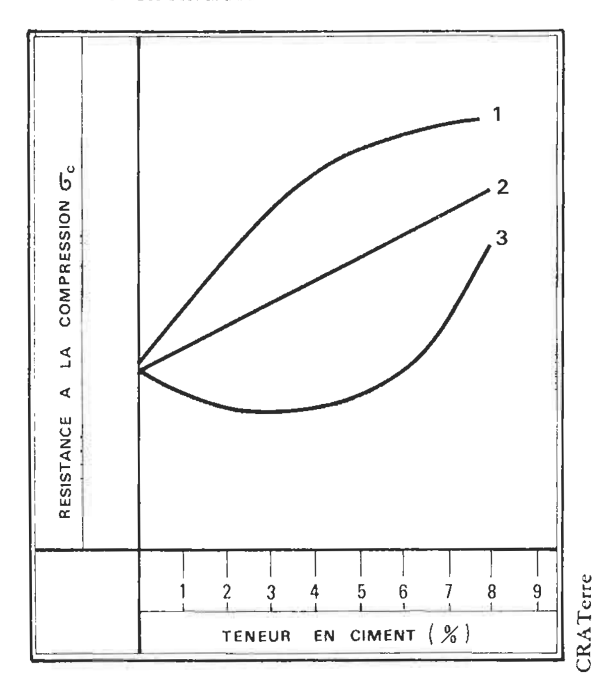
se produira surtout pour les terres se compactant bien, cependant que l'augmentation de densité sèche s'observera pour les terres se compactant médiocrement (granularité étroite par exemple). Des comportements différents pouvant être observés, nous conseillons de procéder à des essais de compactage préliminaires à l'exécution .

EFFETS SUR LE MATÉRIAU STABILISÉ

a) Résistance à la compression (fig. 284)

L'amélioration de résistance en compression peut, suivant le sol traité, évoluer différemment avec la teneur en ciment. L'augmentation de résistance peut être rapide dès les faibles teneurs puis ralentir ensuite (courbe 1). Elle peut être proportionnelle à la teneur en ciment (courbe 2). Il peut se faire enfin qu'aux faibles teneurs en ciment corresponde un abaissement de résistance (courbe 3). Ces variations sont observées bien évidemment sur des échantillons ayant le même âge. Une adjonction de 7 à 8 % de ciment produit, quelque soit le cas, une amélioration sensible de la résistance en compression.

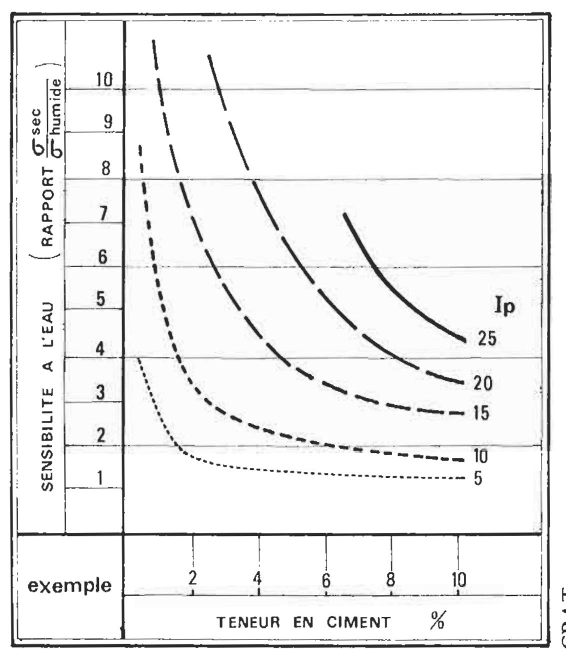
FIGURE 284 : RESISTANCE A LA COMPRESSION ET TENEUR EN CIMENT POUR TROIS SOLS



b) Baisse de résistance en présence d'eau

L'effet principal de la stabilisation au ciment est une insensibilisation à l'eau du matériau. On aura donc réalisé une bonne stabilisation si on obtient un matériau dont la baisse de résistance mécanique demeure limitée après immersion. Par un traitement au ciment bien conduit, on peut obtenir des résultats très satisfaisants. C'est ainsi, qu'en compression, sur une terre dont l'indice de plasticité valait 15 et qui après immersion avait une résistance (σ h) pratiquement nulle, on a pu obtenir, avec 2 % de ciment une résistance, après immersion, égale au huitième de la résistance à sec (σs). Pour 5 % de ciment la résistance après immersion était égale au quart de la résistance à sec. La sensibilité à l'eau du matériau traité augmente avec l'indice de plasticité de la terre, cependant qu'un meilleur compactage et un accroissement de la teneur en ciment la réduisent **(fig. 285)**. Il sera donc préférable d'utiliser une bonne terre en lui ajoutant une quantité moyenne de ciment, et il serait illusoire de compter sur une forte proportion de ciment pour améliorer une terre de mauvaise qualité.

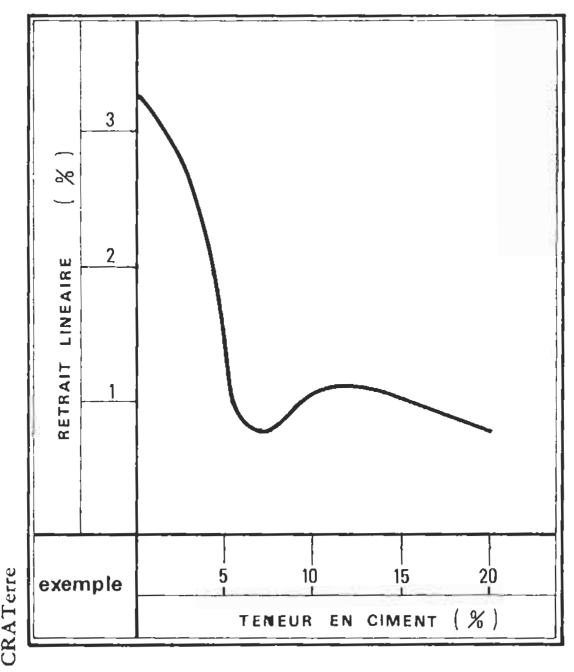
FIGURE 285 : SENSIBILITE A L'EAU SELON LA TENEUR EN CIMENT ET Ip POUR UN MEME COMPACTAGE



c) Variations dimensionnelles en présence d'eau

La stabilisation au ciment diminue l'importance du retrait au séchage et du gonflement à l'humidification. C'est ainsi que, avec 5 % de ciment, le retrait linéaire total peut, selon la terre, demeurer inférieur à 1 % ce qui réduit fortement les risques de fissuration **(fig. 286)**. Une teneur en ciment supérieure n'apporte en général pas de diminution supplémentaire du retrait. De même, les terres stabilisées au ciment acquièrent une bonne résistance à l'action des variations cycliques de teneur en eau (alternance : séchage-mouillage) et des cycles de gel-dégel.

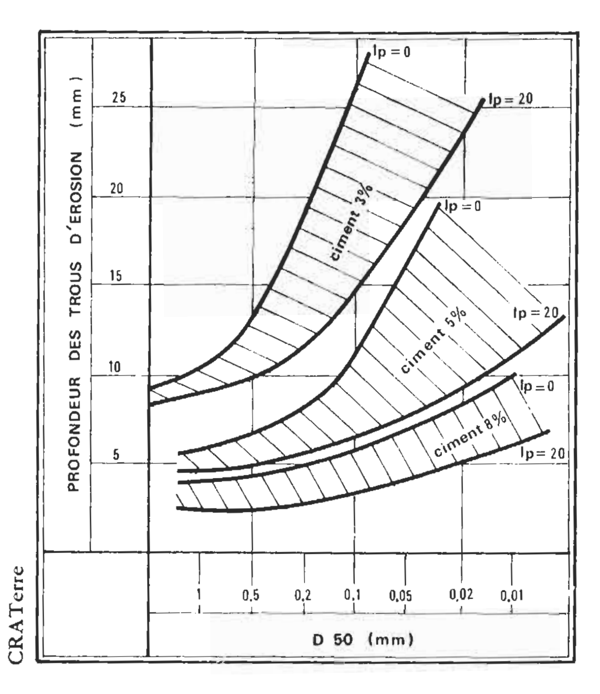
FIGURE 286 : VARIATION DU RETRAIT AVEC LA TENEUR EN CIMENT



d) Erosion :

La stabilisation au ciment améliore la résistance des terres à l'érosion sous l'action de la pluie. Il faut savoir que la tenue à l'érosion n'est pas directement liée à la résistance mécanique, en compression notamment : un bloc de terre résistant bien à l'écrasement peut se désagréger très vite et inversement. On constate systématiquement qu'un élément en terre stabilisé ou non, résiste d'autant mieux à la pluie qu'il contient des grains plus gros. On a pu ainsi mettre en évidence une bonne corrélation entre le comportement de la terre sous la pluie et le D 50 (diamètre en mm tel que le poids des grains inférieur à ce diamètre représente 50 % du poids total de la terre). La granularité est donc le facteur essentiel de la tenue à la pluie. La **figure 287** représente la relation, pour diverses teneurs en ciment, liant la résistance à la pluie et le D 50. Elle a été présentée par J.M. GRESILLON dans une note parue aux annales de l'ITBTP en mai 1976 (n° 339) relatant des expériences effectuées à l'école Inter-Etats d'ingénieurs de l'équipement rural (Ouagadougou, Haute- Volta). Cette note montre de manière assez exhaustive l'effet des principaux paramètres de la stabilisation au ciment (et à la chaux). Nous conseillons au lecteur désireux d'obtenir plus de précisions de s'y reporter.

FIGURE 287 : RESISTANCE A LA PLUIE ET DIAMETRE MOYEN DES GRAINS POUR DIVERSES TENEURS EN CIMENT



Conditions de mise en œuvre de la stabilisation du ciment

a) Pulvérisation

Si l'on ne garantit pas un mélange intime des constituants on n'obtiendra pas une stabilisation satisfaisante. Les éléments fins argileux doivent être dissociés et ne pas s'agglomérer en mottes ou nodules, et l'on veillera à ce que la grosseur des nodules les plus importants ne dépasse pas 20 mm. La présence de 50 % de nodules de grosseur supérieure à 5 mm est susceptible de réduire de

moitié la résistance à la compression. Par exemple, étant donné un sol très bien pulvérisé, stabilisé à 8 % de ciment et ayant une résistance à la compression à sec 25 daN/cm^2 (à 7 jours), pour obtenir la même résistance avec le même sol, mais contenant lors du malaxage 30 % de nodules supérieurs à 5 mm, il faudrait utiliser 15 % de ciment, sans être certain du résultat.

b) Malaxage

Le malaxage conditionne l'uniformité du produit et la bonne répartition du ciment. Les meilleures conditions de malaxage sont réunies lorsque l'on dispose d'un sol sec. Cela nécessite un séchage préalable du sol – surtout dans les régions humides – et donne toute son importance à la remarque précédente concernant la dissociation des éléments fins. L'eau nécessaire au moulage ne sera ajoutée qu'en fin de malaxage. Il faut noter que sur le chantier le malaxage est systématiquement moins bon que celui obtenu en laboratoire, particulièrement dans le cas d'un malaxage manuel. Il y a donc lieu d'augmenter en conséquence le dosage en ciment.

c) Moulage, mise en forme

Pour les sols stabilisés au ciment le meilleur procédé de mise en forme est le compactage statique à la presse, ou le damage (pisé). Les améliorations obtenues ainsi par la stabilisation sont toujours nettement plus fortes que celles obtenues sur des blocs pétris (adobe).

Le matériau doit être compacté juste après le malaxage, avant le début de la prise du ciment, à une teneur en eau très proche de l'optimum, un écart de 4 % en plus ou en moins amenant des baisses très sensibles de qualité. En règle générale les sols riches en argile pourront être compactés du côté humide (à droite de la T.E.O.) cependant que les sols riches en sables le seront du côté sec.

d) La cure (séchage)

Comme pour le béton, la résistance d'un sol-ciment croît avec l'âge. Tous les sols n'ont pas un comportement identique, mais une période de cure de 14 jours est absolument indispensable, et il vaut mieux attendre 28 jours. Pendant cette période on maintiendra le matériau en atmosphère humide, à l'abri du soleil, en prenant garde au vent. Ceci afin d'éviter un dessèchement trop rapide en surface conduisant, lorsque le produit est jeune, donc encore peu résistant, à la formation de fentes de retrait.

Les additifs

Une faible quantité de ces produits, ajoutée au sol-ciment lors du malaxage est susceptible d'en améliorer certaines propriétés.

– Certains produits organiques (acétate d'amine, mélamine, aniline...) ou minéraux (chlorure de fer...) réduisent la sensibilité à l'eau de certains sols.

– La chaux peut parfois être utilisée pour réduire l'influence néfaste des matières organiques, c'est également le cas du chlorure de calcium qui, en outre, accélère la prise du ciment. La chaux par ailleurs peut servir à modifier la plasticité de la terre et à limiter la formation de nodules.

Les additifs sodiques (Na OH ; Na SO_4 ; Na Co_3 ; Na_2 Sio_2) peuvent produire avec les particules de sol des réactions de cimentation complémentaires à celle du ciment.

Les bitumes, en émulsion ou en cut-back, permettent une imperméabilisation du sol-ciment, avec de faibles pourcentages.

La chaux

La stabilisation à la chaux consiste en une incorporation de chaux vive ou hydratée (chaux éteinte) au sol à traiter. L'action de la chaux concerne les particules argileuses contenues dans le sol.

Dans un premier temps, l'apport de chaux produit une modification des liaisons entre particules : l'argile prend une structure floculée cependant que les ions calcium introduits par la chaux constituent des ponts entre les particules.

A plus long terme, on constate la formation par réaction argile-chaux d'éléments cristallins nouveaux, qui viennent cimenter les grains de sol. Ce phénomène n'est sensible qu'après un délai assez long (une quinzaine de jours, dans les meilleurs cas) ce qui implique un temps de stockage.

I – DIFFERENTS TYPES DE CHAUX

a) CHAUX AERIENNES

Produites par cuisson de calcaires très purs (pierres à chaux), elles constituent les principales chaux utilisables en stabilisation.

- **La chaux vive :** (Ca O). Directement

produite par cuisson de la pierre à chaux, son emploi est limité par des conditions délicates de stockage et de manutention : c'est un matériau très avide d'eau et agressif, qu'il faut manipuler avec précautions et qui doit être maintenu à l'abri de l'humidité jusqu'à son emploi. La chaux vive, en fusant au contact de l'eau, produit un échauffement violent et la température peut alors dépasser 150°C. Elle peut présenter cependant certains avantages sur la chaux éteinte : dans les sols humides, elle absorbera l'eau nécessaire à son hydratation. A poids égal, elle est plus efficace car elle apporte plus d'ions calcium.

- **La chaux éteinte :** $(CaOH)_2$. Est obtenue par hydratation de la chaux vive. Ne présentant pas les inconvénients propres à la chaux vive, elle est couramment utilisée en stabilisation. Produite en usine, elle répond en général à des spécifications précises qui garantissent l'approvisionnement d'un produit aux caractéristiques bien définies. Encore faut-il s'en assurer auprès du fournisseur.

b) CHAUX HYDRAULIQUES NATURELLES XHN ET ARTIFICIELLES XHA

Obtenues par cuisson de calcaire contenant une plus forte proportion d'impuretés argileuses, elles se rapprochent des ciments. Leur utilisation peut être envisagée en cas de nécessité, particulièrement si on ne dispose pas de ciment ou de chaux aériennes ; mais l'emploi de ciment ou de chaux aérienne est toujours préférable.

c) « CHAUX » AGRICOLE

On désigne parfois sous ce terme, du carbonate de calcium broyé en agriculture pour l'amendement. Il n'a aucun effet stabilisant.

CHAUX AERIENNES COMMERCIALISEES

CHAUX GRASSE VIVE EN ROCHES

Livrée en vrac ou en sacs étanches, elle se présente sous forme de blocs qu'il sera nécessaire de briser avant utilisation.

CHAUX GRASSE VIVE BROYEE

De mouture : 0 à 2 mm. Elle est trop grossière pour une utilisation généralisée.

CHAUX GRASSE VIVE BROYEE – VENTILEE

Contenant 50 % d'éléments inférieurs à 80 microns et 90 % d'éléments inférieurs à 200 microns.

Livrée en vrac ou en sacs étanches. Directement utilisable.

CHAUX GRASSE ETEINTE VENTILEE

(Fleur de chaux ou chaux hydratée, ou chaux calcyde)

Livrée en différentes finesses de mouture titrant entre 90 et 99 % de $Ca(OH)_2$ suivant les qualités.

II – LA TERRE

Les sols doivent contenir une partie argileuse non négligeable puisque c'est sur elle que la chaux réagit. On préférera les sols des zones plastiques 4 à 9 et surtout 10 à 13. Là encore, les terres devront satisfaire aux conditions garantissant l'obtention d'une bonne compacité. Selon la nature des minéraux argileux présents dans le sol (kaolinite, illite, montmorillonite...), les résultats obtenus varient sensiblement.

Bien que la présence dans le sol de matières organiques réduise les effets de la stabilisation par la chaux, il est possible en augmentant les proportions de chaux de traiter de façon satisfaisante des sols contenant jusqu'à 20 % de matières organiques. C'est le procédé de stabilisation, qui s'accomode le mieux de la présence, toujours nocive, de matières organiques dans les terres traitées.

III – EFFETS DE LA STABILISATION A LA CHAUX

L'addition à un sol argileux de quelques pour-cents de chaux provoque une rapide modification des propriétés de la terre. Elle devient moins plastique et acquiert une meilleure tenue à l'eau. Les courbes de compactage Proctor prennent une forme plus aplatie, ce qui atteste d'une moindre sensibilité à l'eau.

La résistance à la compression, surtout pour les sols riches en kaolinite, subit une

importante augmentation à moyen et à long terme. Pour plus de détails, on se reportera aux articles de A. Le Roux publiés dans le n° 40 et 61 du « Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées ». Des résultats très satisfaisants sont obtenus pour des teneurs en chaux comprises, suivant la terre, entre 3 et 8 %. La chaux convient aux terres contenant une proportion relativement élevée d'argile, elle s'accomode d'une certaine proportion de matières organiques et peut conduire dans ces conditions à des résistances analogues à celles obtenues par stabilisation au ciment.

IV - CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE

a) MALAXAGE

Comme pour le ciment, il devra être particulièrement soigné, de façon à obtenir un mélange intime de la chaux et de la terre. Pour les terres très plastiques, il est possible de procéder en deux étapes espacées de 1 ou 2 jours, ceci afin de laisser à la chaux le temps d'ameublir les mottes. La chaux provoque alors un accroissement de maniabilité de la terre, mais son action sur la résistance risque d'être réduite.

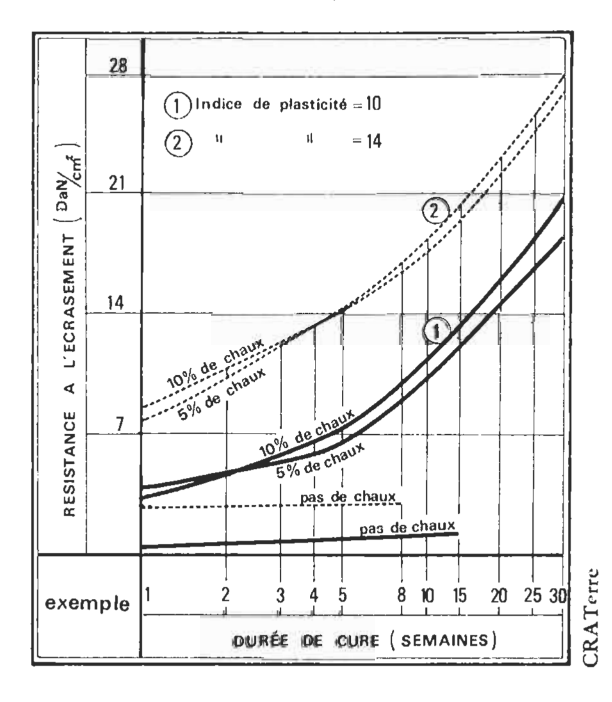
b) COMPACTAGE

Il se fera à une teneur en eau proche de l'optimum, (plutôt du côté humide), immédiatement après malaxage pour les faibles teneurs en chaux (2 %), après quelques heures (2 à 6 h) pour les teneurs élevées.

c) CURE

La résistance à la compression augmente, après la mise en œuvre, avec le temps. Ceci est dû à la formation de minéraux nouveaux par réaction de la chaux et de l'argile. Ce phénomène s'étend sur plusieurs semaines, et il évolue au mieux dans une ambiance chaude et humide **(fig. 288)**.

FIGURE 288 : TEMPS DE CURE ET RESISTANCE



V - ADDITIFS

Comme pour le ciment, on peut envisager l'emploi de certains additifs tels les additifs sodiques, destinés à améliorer les effets de la stabilisation.

Le bitume

Terminologie*

Souvent associé à l'idée de revêtement routier, le bitume ne doit pas être confondu avec l'asphalte, les goudrons, le macadam, etc.

Le terme « bitume » trouve son origine dans le sanskrit où l'on retrouve les mots « jatu » (poix) et « jatu krit » (générateur de poix) par analogie aux résines issues de certains conifères. L'équivalent latin semble être « pix-tumens », autrement dit « poix exsudante » en provenance des couches terrestres et plus tard « bitumen » forme sous laquelle il est passé dans le vocabulaire français sous le nom de bitume.

A l'origine, par bitume on entendait un matériau naturel composé d'un « mélange d'hydrocarbures à poids moléculaire élevé solubles dans le sulfure de carbone, et pouvant comporter des charges minérales en proportions variables. »

Le terme asphalte, quant à lui, vient du terme « asphaltu » qui a donné l'adjectif

*D'après la revue du Syndicat Professionnel des Producteurs et Entrepreneurs d'Asphalte, n° spécial, juin 1972).

grec « asphales » (durable) et désigne « une roche sédimentaire généralement calcaire, naturellement imprégnée de bitume natif dans une proportion de 8 à 10 %. »

Actuellement, on désigne sous le mot de bitume un produit composé d'au moins 40 % d'hydrocarbures lourds et de filler (poudre minérale). Le terme asphalte est appliqué aux produits contenant **moins** de 20 % d'hydrocarbures, le reste étant du filler, des sables, ou des gravillons.

Il faut prendre garde au malentendu pouvant naître de la traduction du terme américain « asphalt » : aux Etats-Unis, on désigne par « asphalt » ce que l'on appelle en France « bitume ». Le terme américain « bitumen » quant à lui évoque plutôt une notion de liant noir s'appliquant aussi bien au bitume de distillation qu'au goudron de houille.

Pour être utilisable, le bitume doit être chauffé, ou mélangé à des solvants (bitumes fluidifiés ou cut-backs) ou bien encore dispersé dans de l'eau (émulsion). C'est sous ces deux dernières formes que le bitume est utilisé en stabilisation.

PRINCIPE DE LA STABILISATION AU BITUME

La stabilisation d'une terre au bitume porte sur les fractions les plus fines (argiles et limons) seuls éléments instables en présence d'eau. Ainsi la stabilisation de la partie argileuse suffit à stabiliser l'ensemble de la terre.

Le bitume fluidifié ou en émulsion se présente sous la forme de globules microscopiques en suspension dans un solvant ou l'eau. Dans un premier temps, ce liquide stabilisant est mélangé au sol. Puis quand le « solvant » s'évapore, les globules de bitume s'étirent en films très fins, formant un revêtement solide adhérant à la surface des particules de sol qu'ils enrobent. Le revêtement est si fin que le sol est à peine coloré. Une fois sec, ce dernier a pratiquement les mêmes caractéristiques mécaniques que le sol non traité. Cependant, les particules d'argile ne peuvent plus absorber d'eau (ni perdre leur cohésion), le sol est donc plus résistant à l'eau. Le bitume en outre apportera une cohésion supplémentaire aux sols naturellement peu cohérents et améliorera leur résistance mécanique. Il joue dans ce cas, un rôle de liant.

LES BITUMES FLUIDIFIES OU CUT-BACKS

Ce sont des bitumes fluidifiés par mélange à des solvants volatiles, gas-oil, kérosène, naphta.

Selon la nature et les proportions de ces solvants, les cut-backs seront plus ou moins fluides et plus ou moins inflammables. La vitesse d'évaporation des solvants dépend de leur nature, des conditions climatiques et de la nature du sol auquel ils sont mélangés. On distingue trois types de cut-backs : à séchage lent, semi-rapide, ou rapide.

Certains additifs peuvent également jouer un rôle, tels les produits tensio-actifs, qui passent pour améliorer l'adhérence. Le tableau ci-dessous présente les principaux cut-backs.

CUT-BACKS (classification européenne)						Classification américaine ASTM
	Type	Point d'éclair (°C)	Pompabilité	Solvant	% Solvant	Type
Séchage lent	SC 0 SC 1 SC 2 SC 3	38 66 79 93	20 45 60 75	Gas-oil	50-55 39-45 30-37 25-30	SC 70 SC 250
séchage semi-rapide	MC 0 MC 1 MC 2 MC 3	38 38 65 65	20 45 60 78	Kérosène	35-39 28-32 23-27 18-21	MC 70 MC 250
séchage rapide	RC 0 RC 1 RC 2 RC 3	0 0 27 27	20 45 60 78	Naphta	35-38 27-30 22-66 17-21	RC 70 RC 250

Les indices 0 à 3 définissent la viscosité.
0 = très fluide
1 = fluide
2 = semi-visqueux
3 = visqueux

Le point d'éclair est la température minimale à laquelle il faut porter le bitume pour que les vapeurs s'enflamment en présence d'une flamme dans des conditions normalisées. Il donne une idée du risque d'incendie.

La pompabilité est exprimée par la température minimale nécessaire pour pomper le cut-back.

NOTE :Le RC 250 (Rapid curing road oil) a été utilisé sur l'adobe par « l'International Institute of Housing Technology », (IIHT), Université de Fresno, Californie, dans une série d'essais ayant donné entière satisfaction.

LES EMULSIONS

Dans ce cas, les particules de bitume sont dispersées dans de l'eau (ou inversement de l'eau est dispersée dans le bitume) à l'aide d'un émulsif. Les émulsions contiennent en général 55 à 65 % de bitume et 1 à 2 % d'émulsif. Ce dernier favorise l'émulsification et maintient le bitume en suspension dans l'eau. On appelle rupture, la séparation ultérieure de l'eau et du bitume.

Il existe deux sortes d'émulsion :
– anioniques : rares elles ne conviennent pas à tous les granulats.
– cationiques : plus répandues et compatibles avec presque tous les sols.

Les émulsions sont en général très fluides et on peut les mélanger facilement à un sol déjà humide. La vitesse de rupture des émulsions dépend surtout de la nature et de la qualité de l'émulsif. On distingue trois types de rupture : lente, semi-rapide, et rapide. Une rupture lente permettant de traiter des éléments plus fins. L'adhérence aux granulats dépend de l'émulsif et des agents tensio-actifs éventuellement incorporés.

Les émulsions sont beaucoup moins stables que les cut-backs : il peut y avoir ségrégation entre l'eau et le bitume (stockage trop long, gel, vibrations liées au transport). Il est parfois nécessaire d'y ajouter des stabilisants en cas de longs transports sur des routes cahotiques.

Le tableau suivant présente les émulsions selon la classification américaine (ASTM). En France, elles sont caractérisées par le pourcentage en poids de liant qu'elles contiennent et par leur viscosité.

Emulsions:classification ASTM

Rupture	Emulsion	Observation
Lente	CSS 1 CSS 1 h	Fluide Visqueuse
Semi-rapide	CMS 2 CMS 2 n	Fluide Visqueuse
Rapide	CRS 1 CRS 2	Fluide Visqueuse

Note : C'est le plus souvent sous forme d'émulsion que le bitume est utilisé aux Etats-Unis pour les productions industrielles de brique d'adobe.

DOSAGE DU BITUME

Le principe de la stabilisation au bitume étant de recouvrir les grains d'une couche imperméable, le dosage va donc dépendre surtout de la surface spécifique du matériau ; donc de la nature et de la qualité des grains qui la constituent. Pour les travaux routiers, on utilise des formules permettant de calculer la quantité optimale de bitume en fonction de la granularité. Ces quantités sont souvent importantes (5 à 20 %) car en plus de la stabilisation, le bitume joue le rôle d'un liant. A notre avis, on ne peut appliquer ces formules aux problèmes spécifiques de la construction des bâtiments. Il est bon de rappeler que la stabilisation n'est vraiment intéressante que pour de faibles proportions de stabilisant. Il est donc essentiel d'avoir une bonne terre, et il ne faut pas trop compter sur l'effet « miracle » d'un produit pour améliorer un matériau.

L'IIHT (Californie) recommande pour l'adobe de faire des tests en augmentant progressivement les quantités de bitume de la façon suivante :

CUTBACK	EMULSION
2 %	3 %
3 %	4 %
	5 %
	6 %

Les essais sont faits à chaque fois sur 3 ou 4 échantillons, qui sont testés à la compression, à la flexion, et à l'essai d'arrosage (cf. chapitre « caractéristiques du matériau ») jusqu'à obtenir des résultats satisfaisants. Cet organisme fait remarquer que les sols trop argileux demandant plus de 3 % de cut-back ou 6 % d'émulsion ne sont en général pas adaptés à la fabrication des briques d'adobe à cause des fissures de retrait trop importantes.

LA TERRE

Les sols qui conviennent le mieux se trouvent dans la partie inférieure du fuseau granulaire **(fig. 281)**. Seuls les sols des zones plastiques 0 et 1 conviennent vraiment. Les zones 2 et 3 peuvent convenir dans les régions sèches **(fig. 282)**.

Les terres contenant des sels solubles (chlorures et sulfates) peuvent se déteriorer si elles sont soumises à des cycles de mouillage et de séchage. L'IIHT (Californie) prend comme taux de sels maximum admissible : 0,2 %. Ce chiffre nous paraît extrèmement sévère. Nous pensons qu'il s'applique surtout à une fabrication de briques de qualité irréprochable justifiée par une production industrielle. Des teneurs en sels plus élevées doivent pouvoir être acceptées selon la destination des produits et leur rôle dans la construction.

EFFETS DE LA STABILISATION AU BITUME

• Influence sur le diagramme Proctor

Le bitume provoque une baisse de densité et un accroissement de la teneur optimale en liquide (eau + bitume). La courbe est donc plus aplatie et la T.E.O. moins précisément définie.

• Résistance à la compression

La résistance à sec augmente avec la proportion de bitume jusqu'à un certain seuil au-delà duquel elle décroit dangereusement **(fig 289)**. Une fois l'enrobage idéal réalisé, le bitume en excès joue le rôle d'un lubrifiant.

La résistance humide croît régulièrement avec la quantité de bitume indépendamment de la résistance à sec.

• Absorption

La quantité d'eau absorbée devient très faible à partir d'un certain seuil, qu'il est intéressant de déterminer **(fig. 290)**. Une température de 40°C pendant le malaxage, le moulage et la cure diminue l'absorption, une chaleur plus forte n'apportant pas d'améliorations.

FIGURE 289 : RESISTANCE A SEC, RESISTANCE HUMIDE

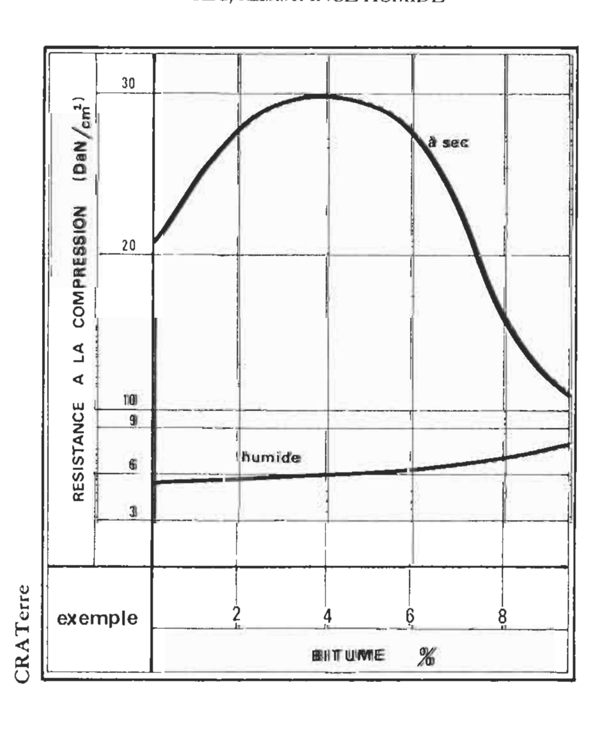
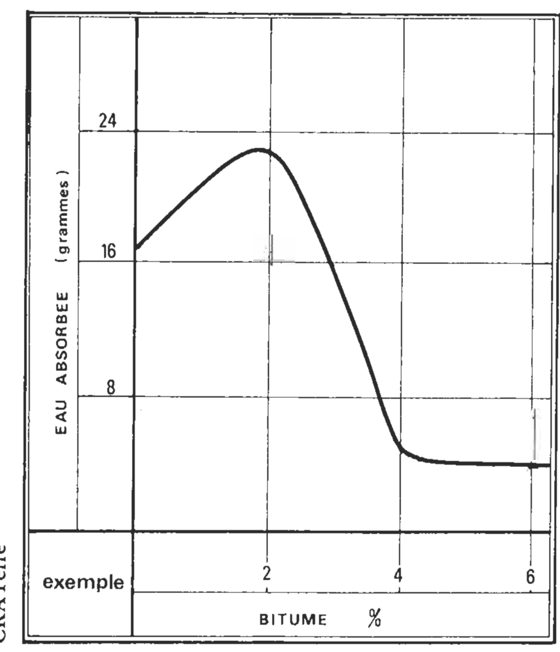


FIGURE 290 : ESSAI D'ABSORPTION



MALAXAGE

Le malaxage a une importance considérable sur la stabilisation, un excès de malaxage pouvant augmenter l'absorption d'eau après séchage. Un malaxage trop poussé peut en effet produire une « rupture » prématurée de l'émulsion.

Il existe deux méthodes de malaxage selon que la terre est destinée à être compactée ou non.

a) La terre n'est pas compactée (adobe, façonnage direct, mortier, enduit).

Le mélange se fait à des teneurs en liquides nettement supérieures à la T.E.O. Le malaxage à la main est facile, l'homogénéité du produit est excellente.

b) La terre est compactée (pisé, blocs compressés)

Il importe, pour le compactage, de disposer d'une terre dont la teneur en eau soit très proche de la T.E.O. déterminée par l'essai Proctor. Si le sol naturel est humide, la quantité de liquide apportée par le stabilisant risque d'amener à des teneurs en eau supérieures à l'optimum Proctor.

La terre, dans ce cas, doit être séchée et il faut prévoir un allongement du temps de fabrication. Le malaxage manuel des terres à la T.E.O. est fastidieux et le mélange moins homogène qu'avec une terre plus humide. La résistance humide et l'imperméabilité seront donc très souvent moins bonnes. En revanche, le compactage et le démoulage des blocs compressés seront plus faciles, et les briques présenteront des arêtes impeccables, car le bitume, par son rôle lubrifiant, aide au démoulage.

Stabilisants non conventionnels

Nous regroupons sous cette rubrique tous les autres stabilisants utilisables pour la terre. Nous ne voulons pas dire que ces produits soient d'un intérêt secondaire. Ces stabilisants sont seulement beaucoup moins employés que le ciment, la chaux ou le bitume, et leurs mécanismes de stabilisation sont souvent mal connus.

On peut distinguer trois groupes principaux :
- Les produits naturels, végétaux ou animaux ;
- Les produits industriels ;
- Les stabilisants commerciaux.

Les produits naturels

On appellera ainsi les produits provenant directement de la nature sans intervention majeure. Ils ne sont pas en général très efficaces, mais sont presque toujours très bon marché.

Employés dans les modes de construction traditionnels, on leur confère une action stabilisante, qui n'est pas toujours certaine.

- **Acide tanique**
- **Acide humique**

- **Caoutchouc naturel**

Il s'obtient à partir du latex de l'hévéa (Amérique du Sud, Asie du Sud-Est, Afrique tropicale).

- **Caséine**

On l'emploie parfois sous forme de petit lait mélangé à du sang de bœuf.

- **Cendres de bois**
- **Copal de manille**

- **Gomme arabique**

Tirée de l'accacia, elle est soluble dans l'eau et son pouvoir imperméabilisant est faible.

- **Huiles végétales**

Huile d'Abrasin, de coco, de coton, de lin de ricin.

- **Latex**

Jus de certaines plantes comme l'Euphorbe, il n'imperméablise que faiblement.

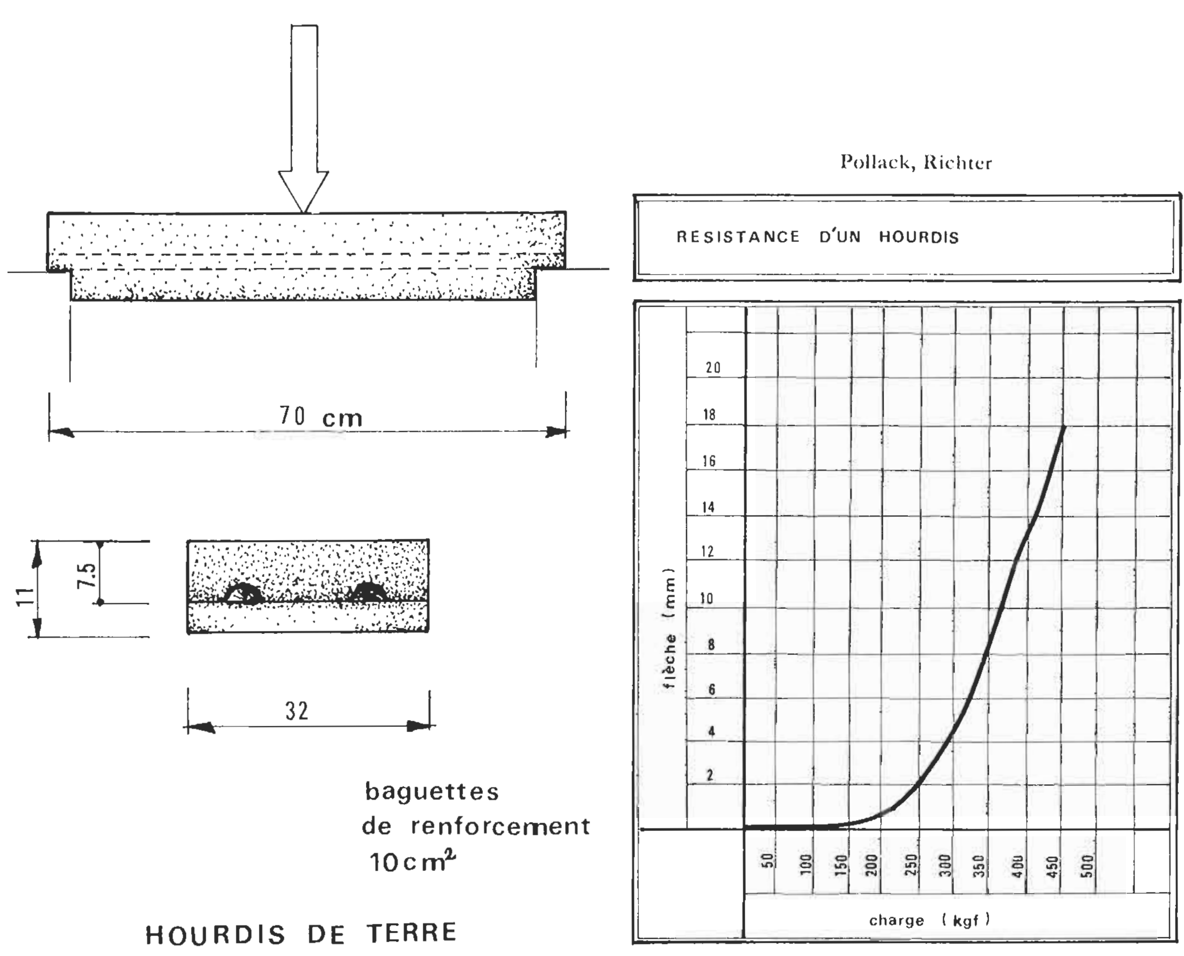
• **Paille**

La paille est très utilisée dans toutes les techniques concernant les terres plastiques et « liquides ». Son action comme stabilisant est assez discutable. Il a été prouvé en effet que l'acide lactique, qui se formerait après pourrissement de la paille pendant une semaine dans la boue n'a aucun pouvoir améliorant.

La paille doit en réalité être considérée comme un agent de renforcement au même titre que le gravier ou mieux, la fibre de verre incorporée dans les plastiques armés.

Ses rôles sont multiples :
- empêcher les fissures au séchage en répartissant dans toute la masse du matériau les tensions résultant du retrait de l'argile ;
- accélérer le séchage, les canaux de la paille drainant l'humidité vers l'extérieur du matériau. En présence d'eau l'absorption sera évidemment plus importante et plus rapide ;
- alléger le matériau. Le volume de paille utilisée couramment atteint souvent la moitié du volume de terre. Le matériau est donc beaucoup moins dense et son isolation thermique est améliorée ;
- augmenter la résistance à la traction. C'est certainement le plus grand intérêt de la paille. Des essais ont été faits en République démocratique allemande dans les années 50 sur des hourdis de plancher, en « terre légère » (leicht lehm). Le matériau est un mélange de terre avec 70 Kg de paille par m^3 de terre, ce qui donne en volume 40 % de fibres. Les hourdis mesurent 70 × 32 × 11 cm et sont renforcés par deux bâtons de 5 cm^2 de section chacun. Le tableau **(fig. 300)** présente les résultats

FIGURE 300 : RESISTANCE D'UN HOURDIS A LA FLEXION



d'un essai de flexion sous une charge concentrée au milieu du hourdis. Les valeurs obtenues sont surprenantes puisque la rupture se produit avec une charge de 450 Kg pour une flèche de 18 mm.

- **Palmo copal**

Le copal est une résine tirée de certains arbres tropicaux. Le palmo-copal est une solution de copal pyrogéné dans de l'huile de palme (4 parties de copal pour 6 d'huile). On ajoute au sol de 3 à 8 % de Palmo-copal.

- **Sang de bœuf**
- **Sisal**

L'extrait concentré de jus de sisal est utilisé au Mexique.

- **Termitière**

Les termitières résistent remarquablement bien aux intempéries. Ceci est probablement dû à une sécrétion dont la substance active est un polymère non ionique du groupe des celluloses de type polysaccharides. La terre des termitières est utilisée parfois pour la confection d'enduits.

Les produits industriels

Ces stabilisants sont des produits de synthèse. Nous énumérons ceux qui ont fait ou font encore l'objet de recherches en laboratoire. Leur application à un niveau économique satisfaisant est plus que douteuse, et leur efficacité n'est pas toujours exemplaire. Ce sont des produits généralement peu utilisés.

- **Les acides**

Toujours plus ou moins dangereux à manipuler sous forme concentrée et même diluée, les acides modifient le P.H. du sol auquel on les incorpore, ce qui produit assez souvent une floculation dont les effets sont malheureusement réversibles. Certains acides sont incorporés dans des stabilisants commerciaux.

Les acides phosphorique, chlorhydrique, sulfurique, nitrique et fluorhydrique ont fait l'objet d'études fragmentaires en laboratoire.

- **Les résines**

Il existe une grande variété de résines synthétiques souvent d'origine végétale. Leur action de liant ou d'hydrophobant a été évoquée au paragraphe : « Principaux stabilisants physico-chimiques ».
Acétate de polyvinyle / Acrylate de calcium / Aniline furfural / Colophane (cf. : Vinsol) / Mélamine / Méthyl-Urée / Phénol formol / Phénol furfural / Résorcinol-formaldéhyde / Urée formaldhéhyde / Urée formol / Urée furfural / Vinsol.

- **Les sels**

Ils ont une action certaine sur la sensibilité des argiles qui en contiennent. Leur utilisation comme stabilisant se heurte à un certain nombre de difficultés dont la principale vient de ce que leur action n'est souvent pas durable. En effet, ils peuvent être lessivés lorsque le matériau traité est soumis à une circulation d'eau. En outre, ils produisent des efflorescences. Leur action bénéfique principale est de réduire l'affinité des particules argileuses pour l'eau.

– Chlorures : – de sodium : floculant
– de calcium : moins efficace que le chlorure de sodium
– dialkyl diméthylammonium
– ferrique

– Sulfate de calcium : (ou gypse) envisager son utilisation avec circonspection.

– Sels d'aluminium : ce sont des électrolytes, ils créent une stabilisation électrochimique.

- **Les silicates**

De calcium, de potassium, de sodium. L'action du silicate de sodium est évoquée au paragraphe : « Principaux stabilisants physico-chimiques ».

Certains déchets industriels peuvent convenir parfaitement pour la stabilisation. Leur qualité de déchet, si elle pose parfois de gros problèmes aux industriels qui ne savent qu'en faire, n'en fait pas toujours des produits économiques.

– Huile de vidange : elle se délave progressivement avec la pluie, et son action est peu durable.

– Laitiers de hauts-fourneaux : peuvent être efficaces ou totalement inopérants selon leur composition.

– Lignine : sous produit de l'industrie du bois, elle est soluble dans l'eau. On peut la mélanger à certains sels de chrome pour la rendre insoluble. On obtient la chromolignine malheureusement très chère.

– Mélasses : mélasse de bois (cf. lignine)
mélasse de sucre ou sucrate de chaux.

Stabilisants commerciaux

On trouve ci-dessous une liste des produits disponibles sur le marché. Ce ne sont pas des produits miracles comme on pourrait le penser. Au contraire, ils sont souvent médiocres et il faut en vérifier soi-même l'efficacité, sans faire trop confiance aux rapports présentés par les agents commerciaux. Presque tous ces stabilisants sont à base de produits industriels commercialisés et réagissant selon des mécanismes à peu près bien connus. Par exemple : un stabilisant contenant 90 % d'acide sulfurique sera décrit comme : « un liquide catalysateur, soluble dans l'eau et provoquant un échange d'ions ». On gardera, sans toutefois les rejeter systématiquement, une certaine méfiance envers ces produits. Certains sont efficaces, et même très efficaces pour des applications précises. Leurs prix sont très étudiés de façon à les maintenir au niveau des prix des stabilisants conventionnels.

Produit ou procédé	Base	Dosage	Observations
ADOGEN 442	amine quaternaire	0,15 à 2%	
ALIQUAD H 226	amine quaternaire	0,15 à 2%	
AM 9	Polyacrylamide		certaine toxicité
ARMEEM	détergent polymère		
ARQUAD 2 HT	dialkyl-dimethylammonium chlorure.		
	détergent polymère dérivé d'amonium quaternaire		
CONSERVEX SCX 444	cut-back et amine quaternaire	0,5 à 1%	imperméabilisant à employer avec CONSOLID SC 444
CONSOLID SC 444	cire et détergent polymère	0,05	aide de compactage à employer avec CONSERVEX SCX 444
CRETASOL	amine quater. sur charge calcaire	idem STABIRAM	
EARTH-PAK			aide de compactage
LATOREX	latérite + chaux		vendu avec unité de production
LANDSCAPE			autre nom commercial du RRP
MITSUI	polyuréthane		
STOPPER			
NSP 121	résine hydrophobante naturelle		
NSP 252	résine hydrophobante naturelle		
NVX	résine hydrophobante naturelle		
PACZYME			aide de compactage
PLASMOFALT			
PLASTIC B	lignosulfate et cut-back		liant et imperméabilisant
RESINE 321	dérivé de colophane		
RRP	acide sulfurique et hydrocarbones sulfonates		aide de compactage
STABILONIA	acétate d'amine gras	0,2 %	semblable au STABIRAM 6775
STABINOL	80 % ciment Portland 20 % résine		liant et hyfrophobant
STABIRAM 6775	acétate d'amine grasse	0,2 à 1 %	cf. STABILONIA
STASOL	acide et électrolyte		2 produits utilisés successivement : A – liquide B – solide soluble dans l'eau
TACSS	polyuréthane		
TERBEC	4 Tert butylpyrocatechol		imperméabilisant
TERRABIND A & B	résine abiétique lignosulfate		idem Résine 321. Il faut y ajouter du sulfate d'alumine.
TERRABIND C			LIANT
TERRABIND D	amine quaternaire		



FIGURE 291 : CONSTRUCTION EN PAN-DE-BOIS : « BAYLEAF FARMHOUSE », XVI[e] SIECLE (MUSEE EN PLEIN AIR DE SINGLETON, ANGLETERRE)

8. TECHNIQUES MIXTES

Nous groupons sous ce titre tous les modes de construction dans lesquels la terre est associée à des éléments de structure (charpente) en bois ou en un autre matériau résistant (roseau, acier, béton armé, etc.) Il existe de nombreuses variations autour de cette idée, selon que la charpente constitue l'essentiel de la structure ou un simple renforcement. Nous distinguerons trois grands groupes :

– La charpente supporte à elle seule tous les efforts du bâtiment, et la terre ne vient qu'en remplissage entre les éléments porteurs du colombage. C'est le cas des maisons en pan-de-bois comme, par exemple, les maisons alsaciennes ou normandes.

– La charpente et la terre se répartissent les efforts. Les éléments de charpente, plus légers que dans le pan-de-bois, ne reprennent que les efforts de compression et rigidifient l'ensemble. La charpente peut être dans l'épaisseur du mur, ou formée de deux nappes constituant avec la terre une cloison « Sandwich ».

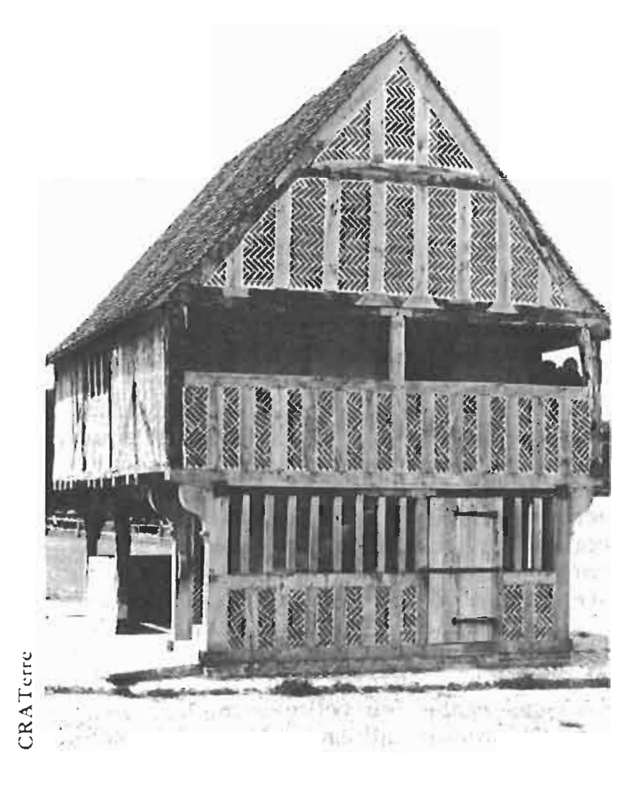
– Les éléments travaillent principalement en flexion : plancher, linteaux, hourdis de plancher ou de toiture, etc.

pan-de-bois

(fig. 291)

Dans ce mode de construction, la terre ne joue qu'un rôle de protection contre le froid et les intempéries. L'essentiel de la construction relève du travail de charpentier. Nous n'étudierons pas ici les techniques du colombage (ensemble des poteaux d'un pan-de-bois), justifiables à elles seules d'un ouvrage entier.

Le matériau de remplissage, souvent appelé torchis, est un mélange de terre et de fibres végétales ou de poils d'animaux, appliqué à l'état plastique sur un clayonnage de petites lattes de bois **(fig. 295).** En général, le garnissage de terre ne recouvre pas les éléments de charpente, l'épaisseur des murs est donc assez faible et la construction très légère.



CRATerre



▲ *FIGURE 292 : « TITCHFIELD MARKET HALL » XVIe SIECLE (MUSEE EN PLEIN AIR DE SINGLETON)*

◀ *FIGURE 295 : REMPLISSAGE DE TERRE SUR UNE STRUCTURE DE POTEAUX ET TRAVERSES (GUATEMALA)*

FIGURE 293 : ▶ « CATHERINGTON TREAD WHEEL » XVIIe SIECLE (MUSEE EN PLEIN AIR DE SINGLETON) CETTE PETITE MAISON ABRITE UNE ROUE DANS LAQUELLE MARCHAIT UN HOMME POUR FAIRE REMONTER L'EAU D'UN PUITS. ELLE N'A JAMAIS ETE ENDUITE DE TERRE, CHOSE COURANTE A L'EPOQUE



CRATerre

Construction en« terre et poteaux »

(Lehmständerbau) – réf. : 23

C'est une variante du Pan-de-bois, mais le travail de charpente y est réduit au minimum. La structure ne se compose en effet que de poteaux en bois brut ou équaris de 10 à 15 cm de diamètre, placés au centre du mur tous les 1,5 m environ. Ces poteaux sont parfois plantés dans le sol, mais le plus souvent, pour éviter le pourrissement, on le pose sur un mur de soutènement. Un jeu de pannes sablières les relie à leur base et à leur sommet pour constituer le chaînage. Les poteaux ne sont contreventés que dans les angles, et la structure a besoin du remplissage de terre pour assurer sa rigidité **(fig. 296).** Les murs, de 40 à 50 cm d'épaisseur, sont faits d'un mélange de terre et de paille en proportions égales (en volume) mouillé d'eau jusqu'à obtenir une consistance plastique. C'est le même matériau que pour la bauge (cf. : « façonnage direct »). Pour matérialiser l'épaisseur du mur, des lattes de bois verticales sont placées comme gabarit à l'intérieur et à l'extérieur du mur. C'est sur elles que le coffrage, formé de deux simples panneaux, va s'appuyer. Elles seront enlevées une fois la construction terminée. Dans certains cas, ce sont ces gabarits qui serviront de structure au mur, au lieu des poteaux. Ils sont alors formés de deux demi-poteaux de bois rond, la face plane vers l'extérieur, et reliés par deux ou trois entretoises.

Le coffrage est rempli du mélange de terre, qui sera pétrie à l'aide d'une petite fourche, puis tassée légèrement avec un pilon de bois. De temps en temps, on pose, en renforcement horizontal, de fines baguettes de bois. Le mur terminé, le matériau est si « élastique », qu'aucune fissure de retrait n'apparaît.

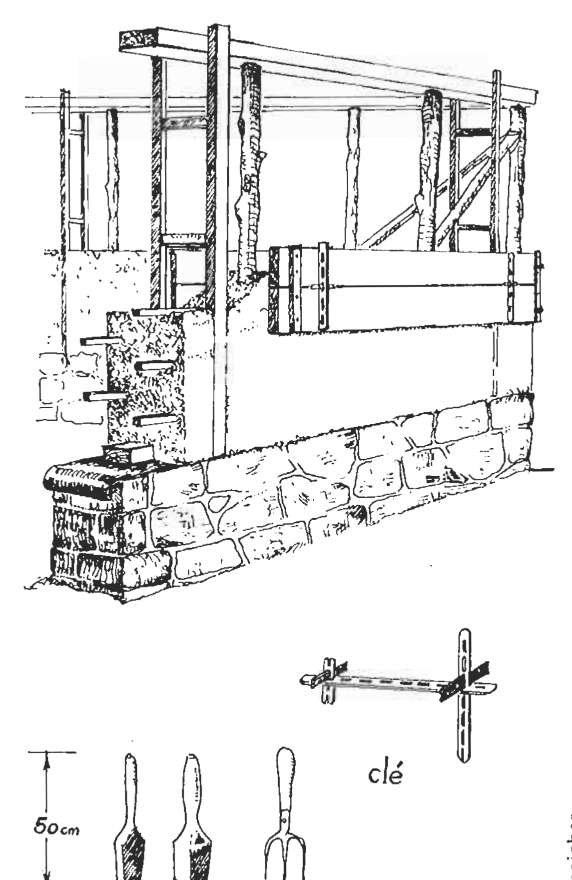


FIGURE 296 : CONSTRUCTION EN « TERRE ET POTEAUX »
– ON DISTINGUE LES POTEAUX VERTICAUX EN BOIS BRUT SERVANT DE RENFORCEMENT ET LES GABARITS SUR LESQUELS S'APPUIE LA BANCHE, ET QUI SERONT ENLEVÉS UNE FOIS LE MUR TERMINE
– LA « CLE » SERT A MAINTENIR ECARTE LES DEUX PANNEAUX DE BANCHE

Scheicher

Eléments horizontaux

Toutes les techniques suivantes utilisent des mélanges de terre à forte proportion de paille. Celle-ci donne à la terre une résistance additionnelle et permet de l'utiliser dans des éléments travaillant en flexion.

PLANCHERS
(fig. 298) – réf. : 16

Les solives du plancher étant posées, on les réunit par tout un clayonnage de petits bâtons espacés de 8 à 10 cm.

Une table-support de 1 × 0,8 m est plaquée sous les solives, et maintenue en place par un étai. Cette table est gardée constamment humide au cours de travail. La terre plastique est façonné sur la table en morceaux en forme de langues, qui sont pressés ensuite avec un bâton entre le lattis de façon à envelopper chaque baguette. L'ouvrier se trouve au-dessus, à genoux sur une planche. A l'aide d'un petit pilon, comme celui utilisé pour gaver les oies, il dame fermement la terre au-dessus et en dessous du lattis de façon à obtenir une surface lisse pour le plafond. Une fois qu'une portion de 70 cm est terminée, le support est déplacé à côté.

FIGURE 297 : CONSTRUCTION EN « TERRE ET POTEAUX »

1 – LA PAILLE ET LES AUTRES FIBRES SONT COUPES EN MORCEAUX DE 10 A 15 cm
2 – PREPARATION DE LA BOUE « COULANTE », QUI SERA MELANGEE AUX FIBRES
3 – LA BOUE EST VERSEE AVEC UNE « CURETTE » A PURIN
4 – LA BANCHE EST REMPLIE DU MELANGE,
5 – QUI EST COMPACTE AVEC UN PETIT PILON
6 – DES BAGUETTES HORIZONTALES SERVENT DE RENFORCEMENT

Fauth

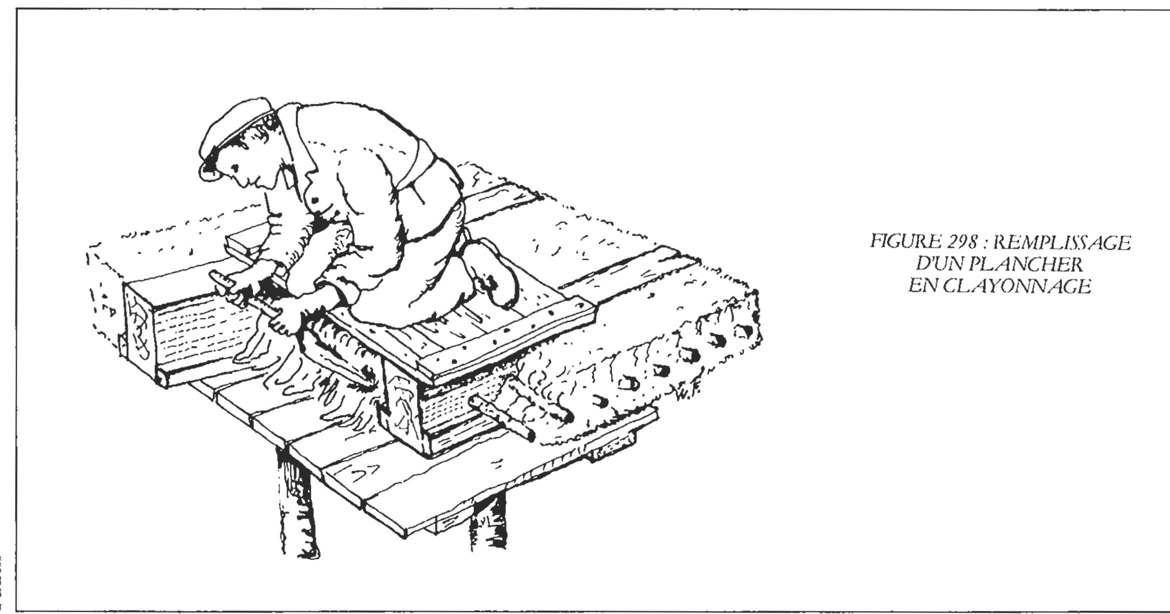


FIGURE 298 : REMPLISSAGE D'UN PLANCHER EN CLAYONNAGE

ELEMENTS PREFABRIQUES

Des expériences de préfabrication réalisées en République Démocratique Allemande après la guerre (réf. : 23) ont porté sur trois types d'éléments.

– panneaux de cloison à emboîtements de 100 × 25 cm ;

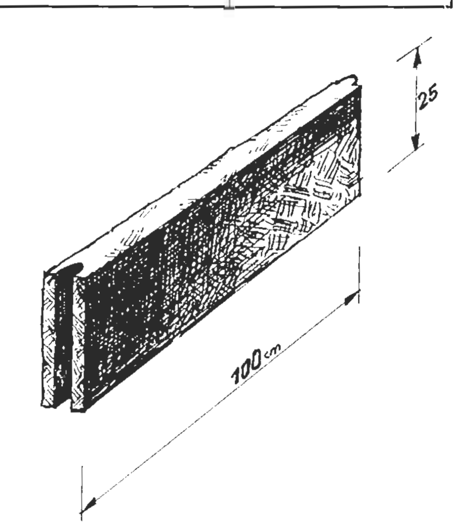
– linteaux de portes et de fenêtres jusqu'à 1,2 m de large ;

– hourdis de plancher ou de toiture **(fig. 299)**.

La terre (leichtlehm) est mélangée avec 50 à 70 Kg de paille par mètre cube de terre, correctement humidifiée, puis moulée sur une table spéciale équipée d'un couvercle rabattant et pesant, qui tasse la terre dans son moule, réalisant un compactage léger. Tous les éléments préfabriqués sont en général armés de baguettes de bois. Une fois terminés ils ont les caractéristiques suivantes, et leur densité particulièrement faible en fait de très bons isolants thermiques.

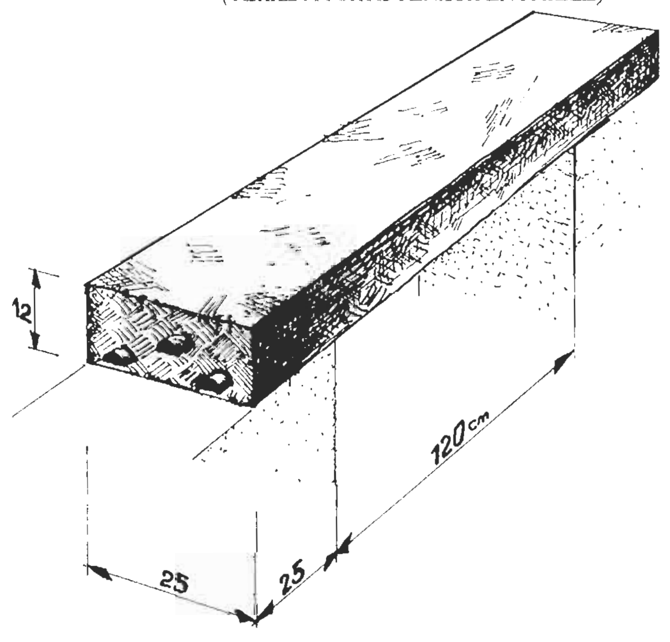
épaisseur (cm)	volume de terre foisonnée par m² (m³)	poids de fibre par m² (kg)	poids de l'élément par m² (kg)	densité
6	0,03	3 à 4	48	0,8
10	0,05	5 à 7	80	0,8
14	0,07	7 à 10	112	0,8
18	0,09	9 à 12,5	114	0,63

Les hourdis de plancher mesurent en général 70 × 32 × 11 cm. Ils sont renforcés de deux morceaux de bois de 3 cm de diamètre. On prépare ces bâtons en les laissant tremper dans l'eau ou dans la boue puis en les enveloppant d'une couche de terre et de fibres de 4 cm d'épaisseur. On les place ainsi dans les moules au moment du remplissage. Un essai de flexion sur un tel hourdis, réalisé en mars 1950 à Magdebourg, a montré une résistance totale de 450 Kg **(fig. 300)**. (–p 217)



ELEMENT DE CLOISON

FIGURE 299 : ELEMENTS PREFABRIQUES EN « LEICHT LEHM » (TERRE A FORTE TENEUR EN PAILLE)



LINTEAU

HOURDIS DE PLANCHER

Pollack, Richter


Ministerio de Vivienda y Construccion - Pérou

FIGURE 301 : COULAGE DE LA TERRE STABILISEE SUR LE TOIT D'UNE DES MAISONS DE CAYALTI (PEROU). CF. CHAPITRE « ADOBE »

9. TOITURES EN TERRE

On a utilisé la terre pour construire des toits, et ceci depuis des temps très anciens. Le type de toiture dépend évidemment de la fonction principale de la couverture : protection de la chaleur, du froid ou protection de la pluie. La stabilisation des terres permet d'améliorer la durée des toits tout en diminuant leur entretien.

Le matériau de toiture peut revêtir des formes très diverses. La terre peut être coulée ou compactée en place sur une structure en bois, en roseaux etc. On peut aussi fabriquer des hourdis de toiture légèrement armés portés par une charpente classique (cf. chapitre « Techniques mixtes ») ou utiliser des briques pour monter des arches, des voûtes et des coupoles.

Toits plats

C'est la couverture traditionnelle des maisons du Nouveau Mexique, (U.S.A.). C'est aussi le moyen le plus simple de faire un toit.

Sur le chaînage de bois ou de béton on pose des poutres avec une légère inclinaison pour faciliter l'écoulement des eaux ; sur celles-ci on place des planches ou des baguettes en bois de 3 à 6 cm de diamètre. Un papier épais de bonne qualité ou un feutre bitumineux est ensuite étalé sur cette sorte de plancher. La terre peut ensuite être mise en place sous forme de boue d'une épaisseur de 20 à 30 cm, ou damée par couche de 7 cm environ. On applique ensuite un revêtement d'étanchéité. On peut étendre au-dessus une nouvelle couche de terre ou de cailloux, qui évitera au revêtement des dilatations trop brutales lors des changements de températures.

Un système a été expérimenté au Pérou : il consiste à couler de la terre stabilisée à l'asphalte et contenant un grand pourcentage de fibres sur une structure en roseau **(fig. 301)** (Voir chapitre « ADOBE » : projet de Cayalti**)**.

Deux types de roseaux sont utilisés :

- **la caña brava** (roseau plein) de 2 cm de diamètre en morceaux de 4 mètres, utilisés entiers avec 11 unités par m^2.
- **la carrizo** (roseau creux) de 2 cm de diamètre en morceaux de 4 m fendus en deux dans la longueur avec 7 unités par m^2.

Différentes fibres furent testées pour renforcer la terre. Dans l'ordre de préférence, on trouve les déchets de canne à sucre, l'herbe sèche (gramma china et cynodon dactylon) et la balle de riz. Ces fibres ont été ajoutées à la terre à raison de 60 % en volume.

Les roseaux sont imprègnés d'une solution de bitume, puis cloués sur une charpente en bois, les clous étant enfoncés le plus près possible des nœuds pour éviter de fendre les roseaux. Les agrafes ou les ligatures en fil de fer ne donnent pas de bon résultats. La terre – sable argileux à 75 % de sable – était stabilisée à 2 % de bitume (RC 250). Le bitume est d'abord mélangé au sol, puis les fibres sont ajoutées et on étale le mélange sur les roseaux en une couche de 3 cm d'épaisseur égalisée à la règle.

TEMPS D'EXECUTION

- 110 à 130 roseaux à l'heure seront possibles pour la préparation du caña brava, le temps de pose des roseaux étant de 60 à 65 roseaux à l'heure.
- 110 roseaux à l'heure sont faisables pour la carrizo, le temps de fendage en long est de 180 roseaux à l'heure et la pose de roseaux similaires à la caña brava, soit 60 à 65 roseaux à l'heure.

PREPARATION DE LA TERRE

Malaxage manuel	0,33 m^3/heure
Mise en place	0,25 m^3/heure
Lissage et talochage	12 m^2/heure

Un autre système a été expérimenté, au Pérou également*, à partir de panneaux préfabriqués en roseaux, enrobés de terre stabilisée au ciment. Les roseaux étaient plus flexibles et plus légers, du type Carricillo. La terre destinée à être compactée avait les caractéristiques suivantes :

Limite de liquidité	23,9 %
limite de plasticité	20,8 %
indice de plasticité	3,1 %

Il s'agit donc d'une terre sableuse et très peu plastique..

Les panneaux sont préfabriqués dans un cadre de 1 × 1 m posé sur le sol :

- on étale une couche de 2,5 cm de terre stabilisée à 15 % de ciment
- on pose les roseaux aplatis au préalable de manière à former une grille
- on les recouvre de terres en remplissant le cadre et l'on dame le tout avec un pisoir de 10 kg en 5 passages. On obtient ainsi un compactage équivalent à 90 % de l'essai Proctor
- après une cure de 7 jours les panneaux peuvent être utilisés.

Les panneaux mesurent 100 × 100 × 6,3 cm et pèsent 111 kg.

Ils peuvent supporter en flexion une charge de 372 kg répartie sur toute la surface, les roseaux représentant 0,67 % du poids du panneau fini.

---

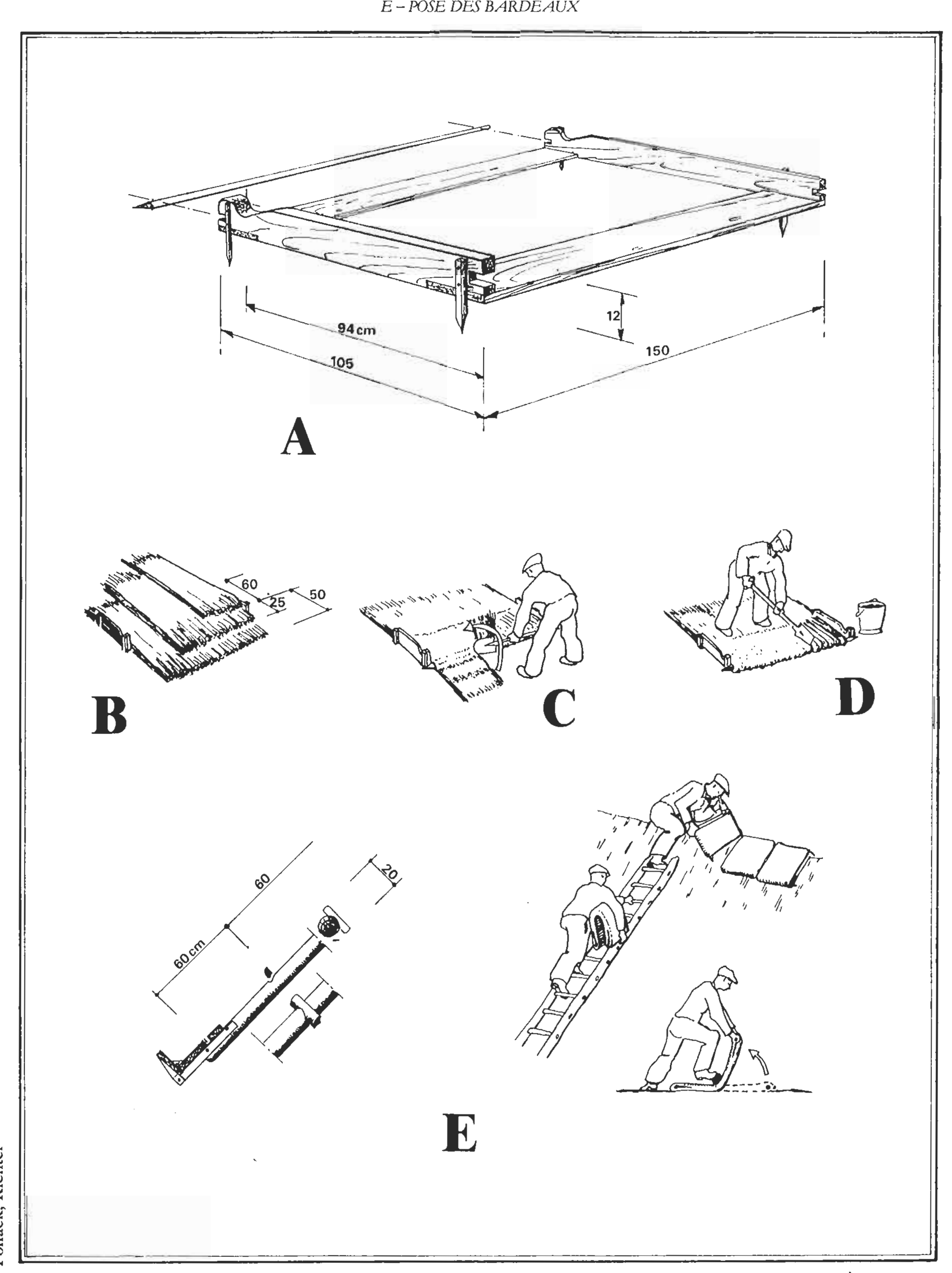
* Voir chapitre « ADOBE » projet de Lima.

Bardeaux d'argile (fig. 302)

Ce sont de grands bardeaux de chaume préfabriqués et liés par de la terre. C'est une technique traditionnelle en Allemagne. Ils mesurent en général 90 × 60 cm et sont fabriqués sur une table.

Une expérience a été tentée en Saxe en

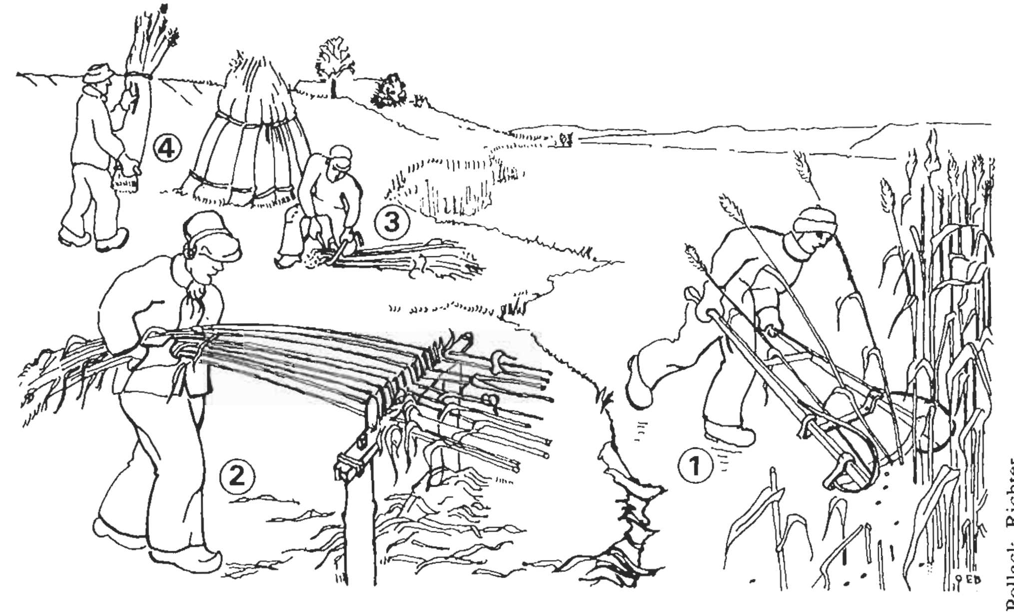
FIGURE 302 : FABRICATION DE GRANDS BARDEAUX D'ARGILE
A – GABARIT
B – DISPOSITION DE LA PAILLE EN TROIS COUCHES
C – LES EPIS SONT REPLIES AUTOUR DU BATON
D – LA TERRE EST LISSEE A LA PELLE
E – POSE DES BARDEAUX



Pollack, Richter

FIGURE 303 : RECOLTE DES ROSEAUX POUR BARDEAUX EN ALLEMAGNE

1 – LES ROSEAUX SONT COUPES AU RAS DE LA GLACE,
2 – DEBARRASSES DE LEURS FEUILLES AVEC UN PEIGNE SPECIAL
3 LES ROSEAUX SONT LIES EN BOTTES,
4 – ET RASSEMBLE EN MEULES



1950 pour réaliser des bardeaux plus larges de 150 à 160 cm. Ces bardeaux sont fabriqués sur le sol dans une sorte de gabarit formé de deux planches de 60 × 12 cm fichées dans le sol.

On dispose de la paille de seigle ou des joncs dans ce cadre, les épis orientés vers le haut du bardeau, en trois couches décalées de 25 cm les unes par rapport aux autres, les épis dépassant de 50 cm de la tête du gabarit. Le tout forme une épaisseur de 12 cm. Sur ces couches de paille, arrosées au préalable et soigneusement peignées, on étale de la boue entre les planches du gabarit sur toute la largeur du bardeau. Un bâton de 3 cm de diamètre, taillé en pointe à une extrémité, et dépassant de 8 cm d'un côté du gabarit est posé à la tête du bardeau et enduit de boue avec le reste. Les épis sont ensuite repliés autour du bâton avec une pelle. Il est essentiel de faire vite pour obtenir un bon résultat. Avec le côté tranchant de la pelle, on fait pénétrer la « purée » d'argile dans la paille, en peignant les fibres de la tête vers l'arrière, de façon à réaliser un collage homogène de la paille sur au moins 5 cm de profondeur. On lisse ensuite la surface supérieure du bardeau avec une règle posée sur le gabarit. On forme en même temps à la tête du bardeau une sorte de crochet de fixation sur toute la largeur du bardeau, avec une latte de bois que l'on imprime dans la boue.

Le bardeau est terminé : deux personnes peuvent le transporter à l'aide de son bâton de tête et d'une planche glissée en son milieu. Arrivé à l'aire de séchage, le bardeau est posé à plat, et avec un plantoir de jardinier on perce un trou sur sa tranche en face de la pointe du bâton. Après durcissement, lors de la pose sur le toit, la pointe du bâton dépassant d'un seul côté va pénétrer dans le trou du bardeau précédent.

Tous les bardeaux sont entreposés à plat pour le séchage, de telle façon que la tête argileuse d'un bardeau repose sur la paille d'un autre. De cette façon les extrémités de paille sont lissées par le poids du bardeau suivant. Dans des conditions favorables le séchage dure 8 jours. Les bardeaux peuvent ensuite être empilés en tas sur des poutres les isolant du sol et protégés par un petit toit. Ils peuvent ainsi se conserver pendant des années.

Les bardeaux d'égoût et de faîtage sont réalisés comme des bardeaux à double tête, mais ne comportent qu'une seule couche de paille, dépassant des deux côtés du gabarit et repliée vers le milieu. Tout le bardeau est enduit de terre. Les bardeaux de faîtage sont posés et pliés à la forme du toit quand ils sont encore plastiques. Ils sont fixés entre eux selon le même principe que les bardeaux plats, à l'aide de trois bâtons, un à chaque extrémité et un autre au centre, s'enfonçant dans les trous correspondants du bardeau voisin.

Pose des bardeaux : les bardeaux sont fixés sur trois chevrons du toit à la fois, par des lattes de 20 cm de long clouées aux chevrons.

La pente du toit doit être de 45° au minimum. Chaque bardeau de 150 × 150 cm couvre environ 0,75 m^2 de toiture, la couverture pèse alors 50 kg/m^2 de surface oblique.

Voûtes en briques de terre

Les voûtes et les coupoles sont très courantes en Iran et au Moyen-Orient. En Egypte, les greniers du Ramasseun à Louxor **(fig. 304)** et les voûtes à étages du

FIGURE 304 : GRENIERS DU RAMASSEUM A THEBES (EGYPTE)



Gille Garby

monastère St-Siméon à Assouan **(fig. 305)** montrent à quel degré cette technique est maîtrisé depuis des siècles.

FIGURE 305 : VOUTES A ETAGES - MONASTERE SAINT-SIMEON (ASSOUAN, EGYPTE)



La plus grande voûte de briques connue se trouve à Ctésiphon (Irak) : elle a une portée de 27 m et une hauteur de 38 m.

La forme de l'arc d'une voûte doit être telle qu'aucune brique ne travaille en traction. La courbe géométrique idéale est alors celle de la chaînette, qui est l'arc que prend naturellement une chaîne soutenue par ses extrémités. Le rapport hauteur/portée, qui détermine le volume de la voûte, ne doit pas être trop faible pour ne pas soumettre le sol de la fondation à des poussées horizontales trop importantes. Une voûte surbaissée offrira en effet une grande surface habitable avec peu de matériau, mais les briques seront fortement sollicitées en compression et le sol sera soumis à des efforts de cisaillement importants.

Principes de conception

La portée des voûtes est limitée dans la pratique par la résistance des briques de terre et surtout par les réactions du sol aux poussées horizontales. On réussit quand même à couvrir de grands espaces, en construisant des arches parallèles appuyées latéralement par des contreforts. Des voûtes de faible portée relient ces arches, et donnent ainsi un espace couvert d'un poids minimum.

Construction de voûtes avec cintre

La méthode la plus simple pour élever une voûte est d'utiliser un cintre qui supportera la maçonnerie pendant la construction. S'il est possible d'étayer les arches par un tas de briques, le volume de matériau nécessaire pour toute une pièce est trop grand pour utiliser une telle méthode. Il est souvent plus facile de construire un cintre démontable. Quand il n'est pas possible de fabriquer le coffrage entier de la pièce à

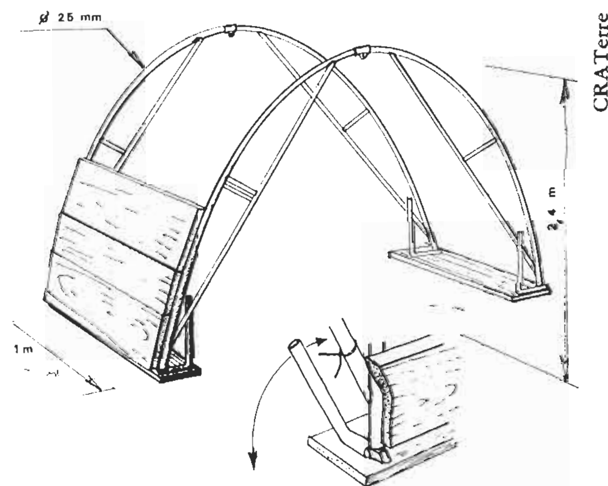


FIGURE 306 : COFFRAGE EXPERIMENTAL AVEC CAME FACILITANT LE DECOFFRAGE

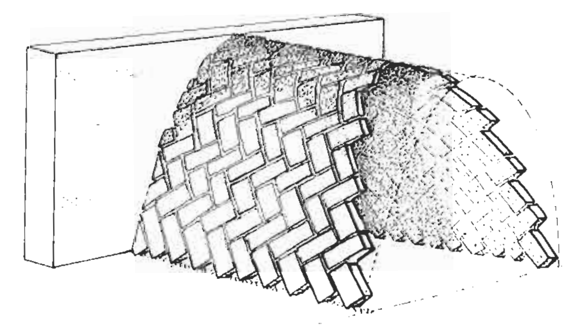


FIGURE 307 : APPAREILLAGE EN EPIS (OU EN CHEVRON)

couvrir, on utilise un cintre de 1 à 2 m de long que l'on déplace au fur et à mesure que la voûte avance. Le cintre peut être métallique **(fig. 306)** ou en bois. Il doit être léger et facilement démontable pour pouvoir le sortir une fois la pièce terminée. Le cintre est posé sur des cales ou un système de cames qui permettent d'abaisser l'ensemble de quelques centimètres au décoffrage, en le soulageant du poids de la voûte.

Les briques sont souvent appareillées en épis **(fig. 307)** pour faciliter la liaison avec la portion de voûte suivante. Une maçonnerie en assises horizontales ne permet pas en effet une reprise correcte de deux portions de voûtes successives.

Construction de voûtes sans cintre

La méthode de construction de voûtes sans coffrage est très répandue en Iran et dans l'ancienne Nubie. On doit à l'architecte Egyptien Hassan Fathy d'avoir actualisé cette technique dans son expérience de Gourna en 1948. Le projet de Gourna en Egypte (en face de Louxor), un village de 7 000 habitants, devait être entièrement construit en briques de boue, avec des toits en voûtes et en coupoles. La construction des voûtes n'étant pas connue dans cette partie de l'Egypte, Hassan Fathy recruta des maçons en Nubie pour enseigner aux Gournis cette technique de construction **(fig. 309-310).**

FIGURE 309 : CONSTRUCTION D'UNE VOUTE NUBIENNE PRES D'ASSOUAN (EGYPTE)



Max et Suzanne Hirschi

FIGURE 310 : LE MAÇON NUBIEN S'APPRETE A « COLLER » LA BRIQUE SUR LA COUCHE DE MORTIER. ON DISTINGUE SUR UNE FACE DE LA BRIQUE LES SILLONS, CREUSES AU MOULAGE, ET QUI AMELIORERONT L'ADHERENCE DE LA BRIQUE AU MORTIER



Max et Suzanne Hirschi

Nous avons voulu expérimenter nous-mêmes cette technique en élevant une petite portion de voûte à Vignieu (Isère) en 1977. La voûte a 3 m de portée et 3 m de haut. Elle est réalisée en briques stabilisées compactées avec une presse manuelle (« Palafitte » cf chapitre « briques de terre compressées »). Nous n'avons pas utilisé l'adobe, qui aurait demandé un séchage trop long pour le temps dont nous disposions.

Le principe de construction est de monter la voûte par assises de briques très inclinées (70° à 80°) sur l'horizontale ; chaque brique est alors appuyée sur l'assise précédente et le mortier d'argile la fait adhérer suffisamment pour l'empêcher de tomber. Les premières assises s'appuient sur un mur vertical sur lequel est tracé le profil de la voûte. Les maçons Nubiens tracent du premier coup d'œil une parabole parfaite sans utiliser de mesure ni d'instrument. N'ayant pas leur pratique nous avons construit un gabarit démontable en tubes, qui nous a servi à tracer le profil de la chaînette sur le mur et à le conserver au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Les premières assises sont posées « en boutisse » (sur une face) **(fig. 311)** pour

FIGURE 311 : POSE DES PREMIERES BRIQUES SUR LE SOUBASSEMENT



ADETEN

plus de résistance, ensuite « en paneresse » (sur le bout) afin d'alléger la construction. Le mortier était en terre stabilisée au ciment.

Les briques standard de la presse (29 × 14 × 9 cm) étaient trop lourdes pour tenir

FIGURE 312 : LES BRIQUES SONT POSEES SUR LE BOUT : LA VOUTE A DONC 15 cm D'EPAISSEUR


ADETEN

par simple adhérence du mortier, au sommet de la voûte. Nous avons donc fabriqué des briques plus légères de 4 cm d'épaisseur, que le mortier suffit à maintenir en place **(fig. 312)**.

Les Nubiens utilisent pour les voûtes et les coupoles des briques d'adobe spéciales, de 5 cm d'épaisseur et à forte teneur en paille, ce qui les rend particulièrement légères. Ils tracent sur les faces, avec les doigts, des sillons en diagonale, qui améliorent l'adhérence des briques au mortier par « succion ».

Les maçons de Gourna construisaient par équipe de deux des voûtes de la même taille que la nôtre (3 m de portée) à raison de 0,2 m linéaire à l'heure (54 briques). Pour atteindre ce rythme, les maçons devaient subir un apprentissage de deux mois. Manquant totalement d'expérience, notre travail avançait beaucoup plus lentement.

La principale difficulté de la construction est de garder constamment, au cours du travail, la forme de départ. Par effet de perspective, le maçon a tendance, en effet, à ouvrir la voûte à la hauteur des « reins » et à en rehausser la clef. La forme d'origine risque d'être altérée et les briques soumises à des efforts de traction.

Il faut aussi veiller à conserver la même inclinaison des assises, alors que le maçon tend, en général, à en diminuer la pente vers le sommet de la voûte.

La voûte se termine naturellement par un pan oblique. Il est possible de rehausser progressivement les arcs jusqu'à la verticale en laissant sécher tous les 3 ou 4 arcs de briques.


ADETEN

FIGURE 313 : LES BRIQUES DU SOMMET SONT LES PLUS DELICATES A POSER

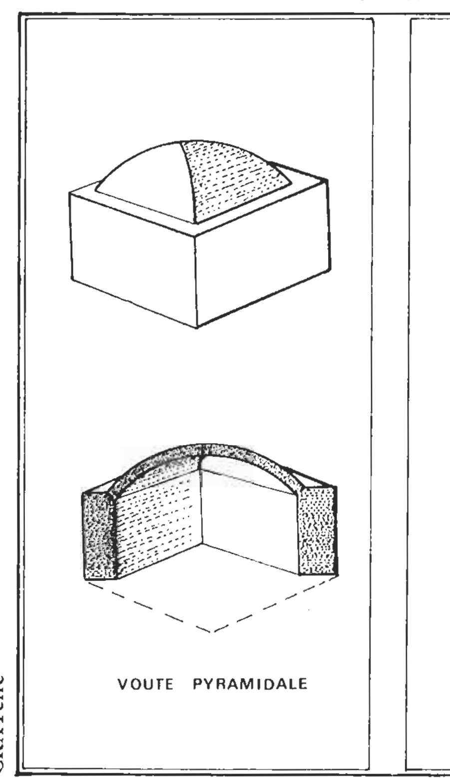

ADETEN

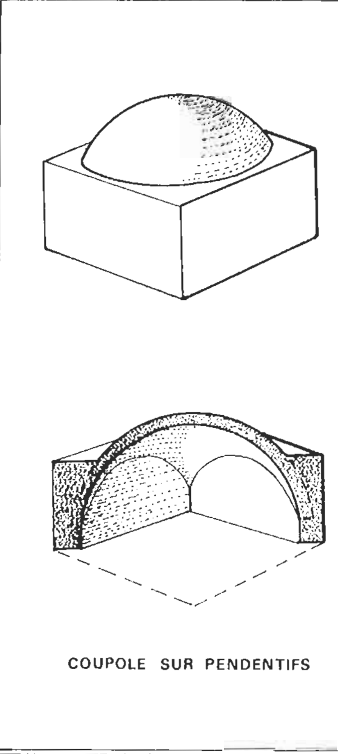
FIGURE 314 : LE MAÇON EN HAUT A GAUCHE VERIFIE QUE LE PROFIL DE LA VOUTE RESTE CONSTANT

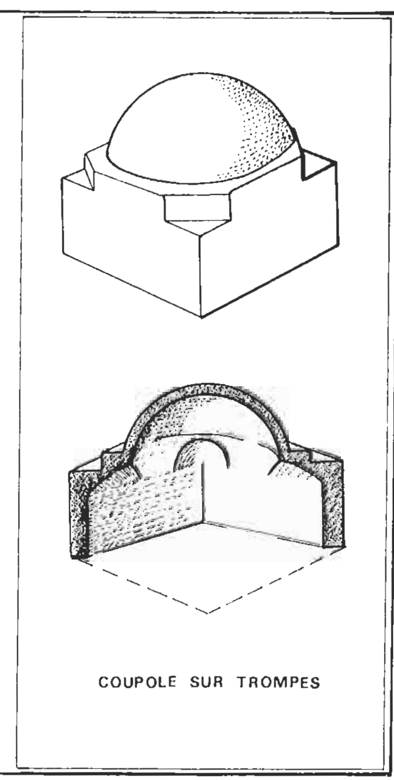
Coupoles

Alors que les sections horizontales des voûtes sont toutes rectangulaires, celles des coupoles sont circulaires. Celles-ci s'adaptent donc facilement sur des espaces ronds. Mais un problème se pose quand il s'agit de poser une coupole sur une forme carrée ou rectangulaire. Il y a plusieurs réponses à cette question **(fig. 315)**.

FIGURE 315 : TROIS METHODES POUR POSER UNE COUPOLE SUR UNE PIECE CARREE

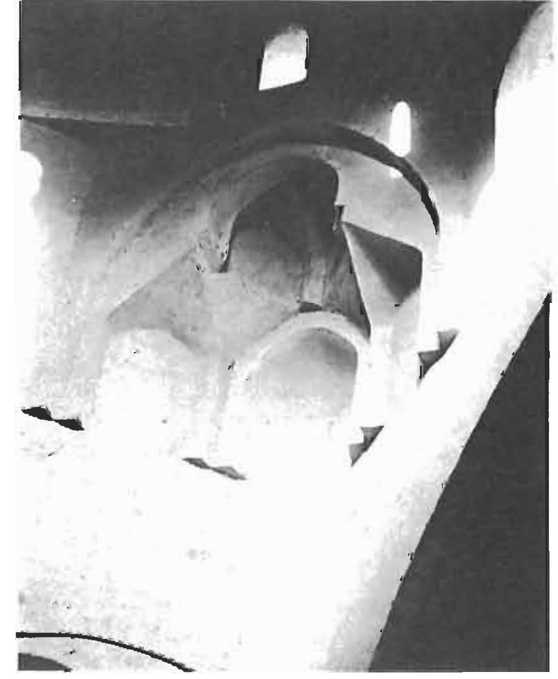






CRATerre

FIGURE 316 : TROMPES DE LA COUPOLE DE LA MOSQUEE DU NOUVEAU GOURNA (EGYPTE) ▶



CRATerre

Voûtes Pyramidales

L'intersection de deux voûtes, réalise une « fausse coupole » ressemblant à une pyramide à faces bombées. C'est un peu l'opposé de la voûte d'arrête puisqu'on ne conserve que la partie « intérieure » de l'intersection. Toutes les sections horizontales de cette « coupole » sont des carrés.

Coupoles sur trompe

Le passage du carré au cercle se fait par l'intermédiaire d'un octogone, en « coupant » les coins du carré. On peut le faire de deux façons différentes ; par des poutres en matériau résistant, ou par de petites voûtes dans les coins (trompes) de formes diverses : cônes, trompes en cul de four etc. La coupole est posée sur l'octogone, son diamètre étant égal au côté du carré.

Coupoles sur pendentifs

La coupole n'est pas une demi-sphère complète, et son diamètre est égal à la diagonale du carré. La construction commence dans chaque coin par des pendentifs, des sortes de triangles sphériques qui se rejoignent au milieu de l'arête supérieure des murs.

Le centre de la coupole se trouve plus bas que le niveau du sommet des murs, à 1 m du sol environ pour une pièce de 4 × 4 m, l'arc est donc plus aplati. Ce type de coupole est donc plus léger, mais n'étant pas complètement indépendant, il exerce des poussées horizontales au milieu du sommet des murs.

Construction des coupoles

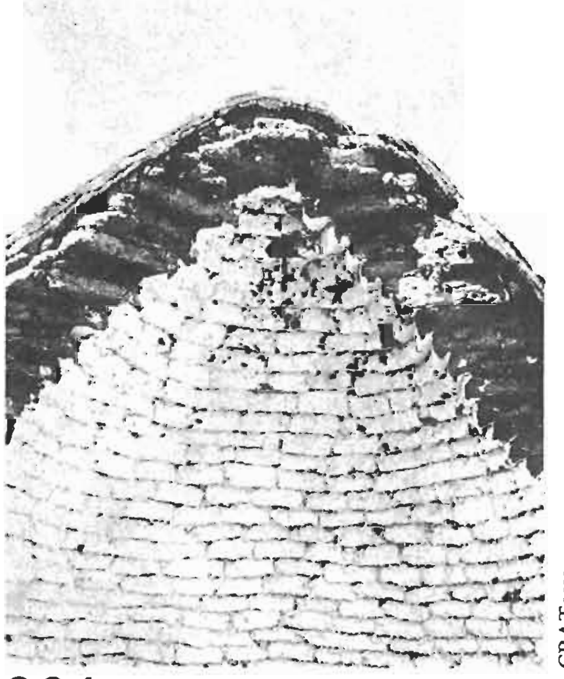
Coupoles coffrées

Il n'existe pas de solutions simples pour coffrer une coupole. Un tel coffrage doit être de la taille de la pièce à couvrir et on doit pouvoir le sortir par la porte, une fois la maçonnerie terminée.

Coupole en encorbellement (fig. 318)

Les briques sont posées en assises horizontales en surplomb les unes sur les autres. Les briques sont souvent assez grosses, pour procurer un surplomb plus important. Elles sont appareillées en anneaux indépendants ou en spirale. Il n'est pas facile de terminer le sommet de la coupole en arc-de-cercle, car le porte-à-faux des briques devient trop important. On préfère souvent faire un toit en forme de cône **(fig. 320).**

FIGURE 318 : COUPOLE EN ENCORBELLEMENT. LE PORTE-A-FAUX D'UNE BRIQUE REPRESENTE ENVIRON LE DIXIEME DE LA LONGUEUR.



CRATerre

FIGURE 319 : UNE COUPOLE VUE DU DESSOUS, LES BRIQUES SONT DISPOSEES EN SPIRALE (SYRIE)



CRATerre

FIGURE 320 : LES « COUPOLES » EN ENCORBELLEMENT S PRESQUE TOUJOURS CONIQUES (SYRIE)



CRATerre

Coupole « Nubienne » (Fig. 321)

Selon les mêmes principes que les voûtes, les maçons Nubiens construisent les coupoles sans coffrage (expérience de ADAUA en Mauritanie).

Il faut construire des pendentifs pour passer du plan carré à la base circulaire de la coupole. Les pendentifs et la coupole font

FIGURE 321 : COUPOLE CONSTRUITE SANS COFFRAGE AU NOUVEAU GOURNA (EGYPTE)



CRATerre

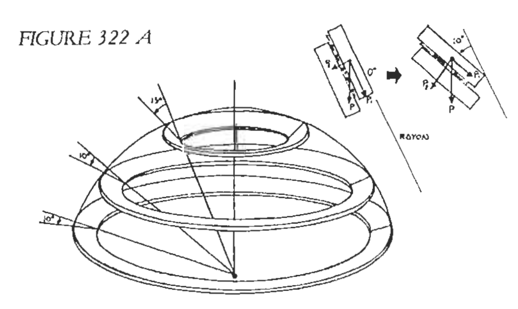
partie d'une sphère dont le diamètre est égal à la diagonale de la pièce carrée à couvrir.

La construction est en briques rectangulaires au lieu de pièces en voussoir et se réalise sans cintre. Pour éviter le glissement des briques, le système employé se base sur la disposition particulière de celles-ci. On utilise la même méthode pour la construction des pendentifs et du dôme.

Les briques sont compactées à la presse (Majomatic-hydraulique, et S.M.). Elles mesurent 25 × 15 × 5 cm. Les briques sont disposées suivant des assises en couronne dont l'inclinaison sur l'horizontale est inférieure de 10° à 15° à celle des rayons correspondant à la sphère ; on diminue ainsi la tendance au glissement des briques **(fig. 322 A)**.

FIGURES 322 : PRINCIPE DE CONSTRUCTION DES COUPOLES SANS COFFRAGE

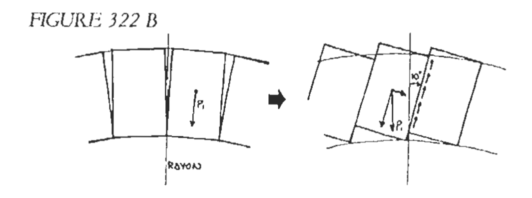
FIGURE 322 A



ADAUA

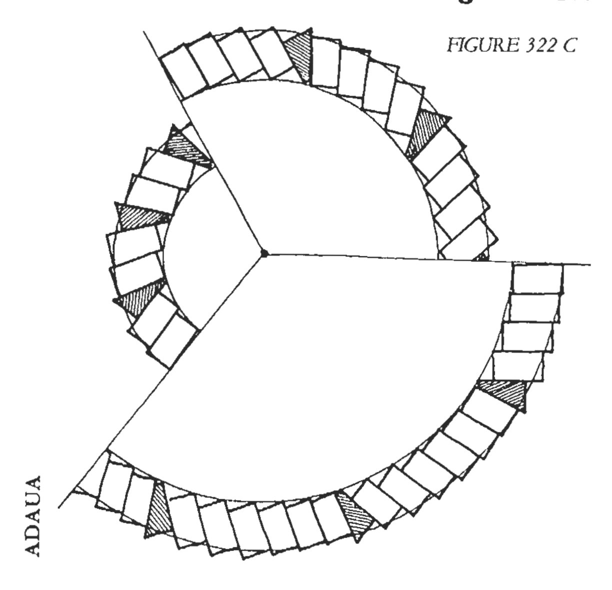
Dans chaque assise, les briques se trouvent légèrement décalées (10°) par rapport aux rayons de la couronne **(fig. 322 B)**. La composante du poids (P), qui provoque le glissement, se trouve ainsi annulée par les forces de frottement du dessous et des côtés des briques. Cette orientation des briques doit être corrigée par des pièces trapézoïdales en voussoir : les « clés » **(fig. 322 C)**.

FIGURE 322 B



ADAUA

FIGURE 322 C

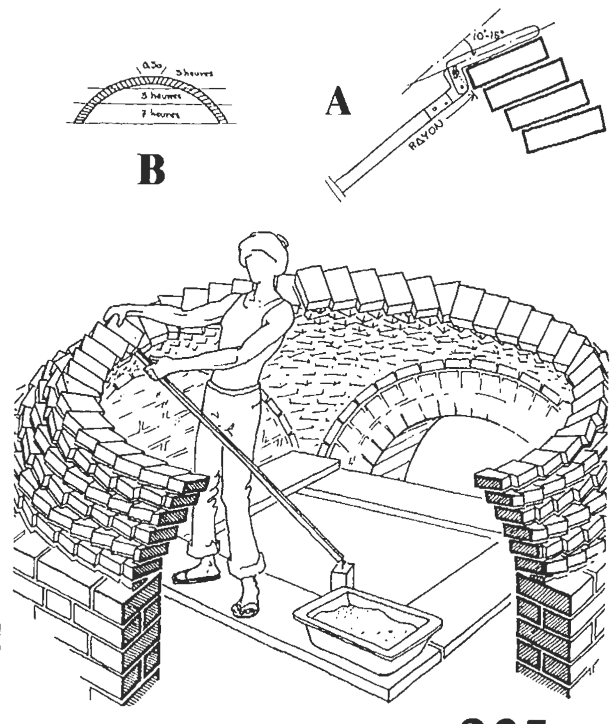


ADAUA

Un « trace dôme » ou rayon mobile de la sphère indique la position de chaque brique, (saillie maximale vers l'intérieur du dôme), ainsi que la bonne inclinaison des briques **(fig. 323 A)**.

La construction d'un pendentif demande 2 h 30 de travail. La coupole se fait par tranches de 7 à 5 assises qu'on laisse sécher **(fig. 323 B)**.

FIGURE 323 : CONSTRUCTION D'UNE COUPOLE SANS CINTRE



ADAUA

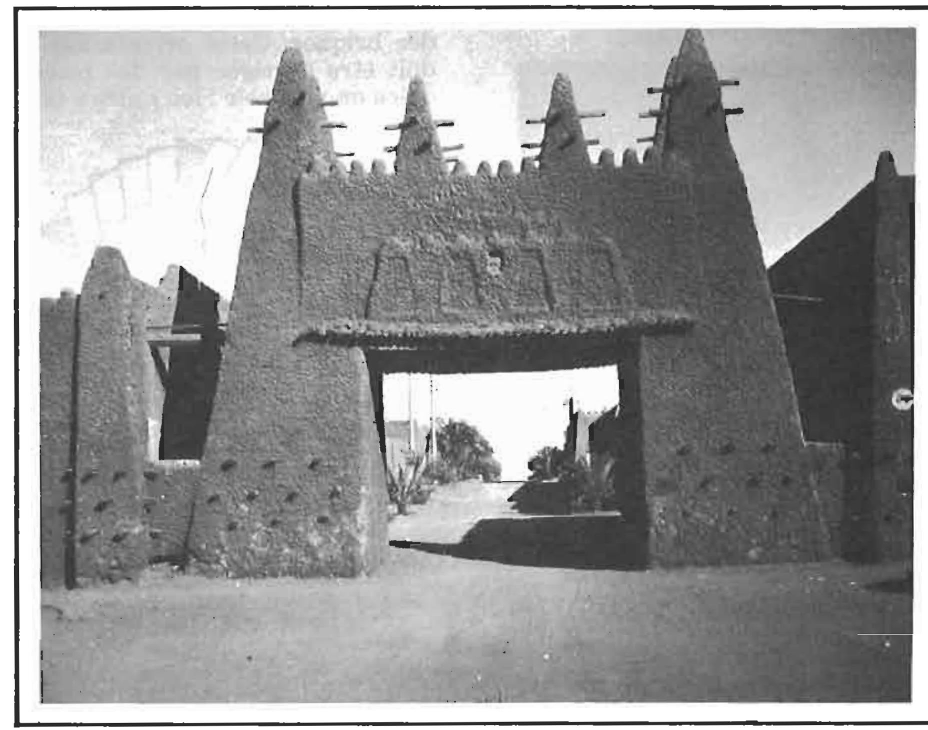

Bernard Ruffin

FIGURE 327 : ENDUIT DE TERRE REALISE EN BOULES PROJETEES

10. ENDUITS ET PEINTURES

Les enduits destinés aux maisons en terre diffèrent-ils de ceux qu'on applique aux autres constructions ? Etant donné les difficultés qu'on rencontre, peut-on justifier la présence des enduits sur les constructions en terre ? Et si oui, de quoi se composent-ils et comment les accroche-t-on aux murs ?

Les peintures peuvent être appliquées sur un enduit ou directement sur la maçonnerie si celle-ci est soignée. Dans les deux cas, la surface à couvrir doit être propre et dépoussiérée. On évitera de peindre des murs surchauffés ou exposés en plein soleil.

A côté des peintures industrielles dont nous présentons la gamme dans le tableau, il existe des produits naturels et chimiques qui servent en même temps à stabiliser et à peindre la surface des murs.

Les enduits

1) Doit-on enduire les constructions en terre ?

Il existe un grand nombre de maisons en terre non enduites. Dans les régions qui ont des climats humides (Vendée, Dauphiné, Ecosse), certaines constructions en terre ne sont pas enduites et d'autres le sont entièrement.

Le prix de l'enduit varie de 50 à 70 FF le m^2 (1978) comprenant 80 à 90 % de main-d'œuvre qualifiée. Il peut varier du simple au double selon les difficultés du chantier. Nous savons par ailleurs que les enduits des maisons en terre ne sont pas toujours durables. Ces constatations nous amènent à poser le problème de la nécessité de l'enduit. On peut très bien se passer de l'enduit et réaliser ainsi une économie appréciable, à condition de faire attention aux points suivants :

– Protection contre la pluie battante grâce à une construction basse, abritée par un avant-toit important.

– Aspect extérieur soigné : on l'obtient, avec la terre damée, en plaçant rigoureusement les banches, en remplissant régulièrement les joints ou en simplifiant la conception des détails gênants (angles, pignons). Dans la maçonnerie de briques de terre, les joints doivent être réguliers. Ils sont plus faciles à réaliser avec de gros blocs qu'avec de petites briques.

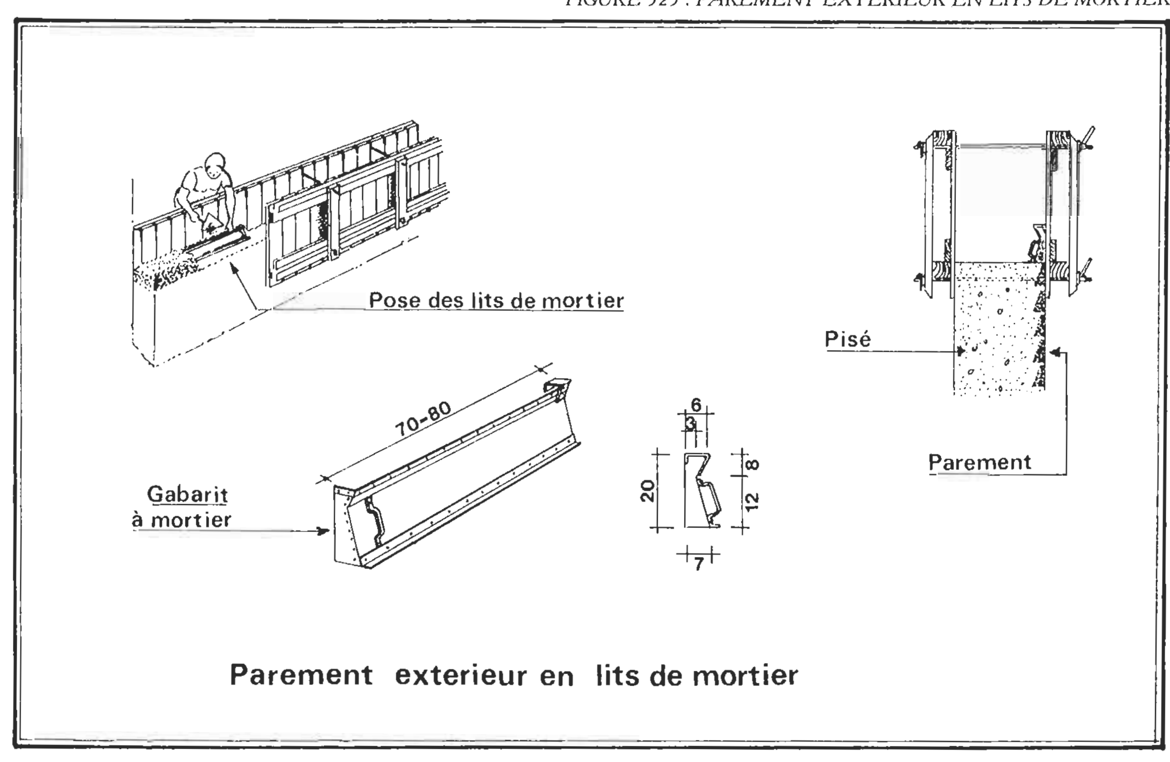
– Stabilisation plus forte des murs exposés.

– Stabilisation plus forte à l'extérieur de tous les murs. C'est une pratique courante dans la construction en pisé.

Sur une largeur d'environ 10 cm, on remplit de terre stabilisée le côté de la banche extérieure. Le volume restant est rempli de terre ordinaire. On dame et on obtient ainsi un « enduit incorporé » **(fig. 325).** Une autre pratique consiste à insérer successivement, tous les 15 cm, des couches de terre stabilisée le long de la banche extérieure et former ainsi des bandes d'un matériau plus résistant.

Si l'on veut utiliser un enduit, voici les multiples rôles qu'il peut remplir de par ses propriétés :
- améliorer l'aspect d'un mur et en camoufler les défauts ;
- protéger de la pluie et imperméabliser ;
- protéger des chocs et des frottements ;
- améliorer l'esthétique par la couleur ;
- améliorer l'isolation thermique (enduits légers).

FIGURE 325 : PAREMENT EXTERIEUR EN LITS DE MORTIER



Parement exterieur en lits de mortier

CRATerre

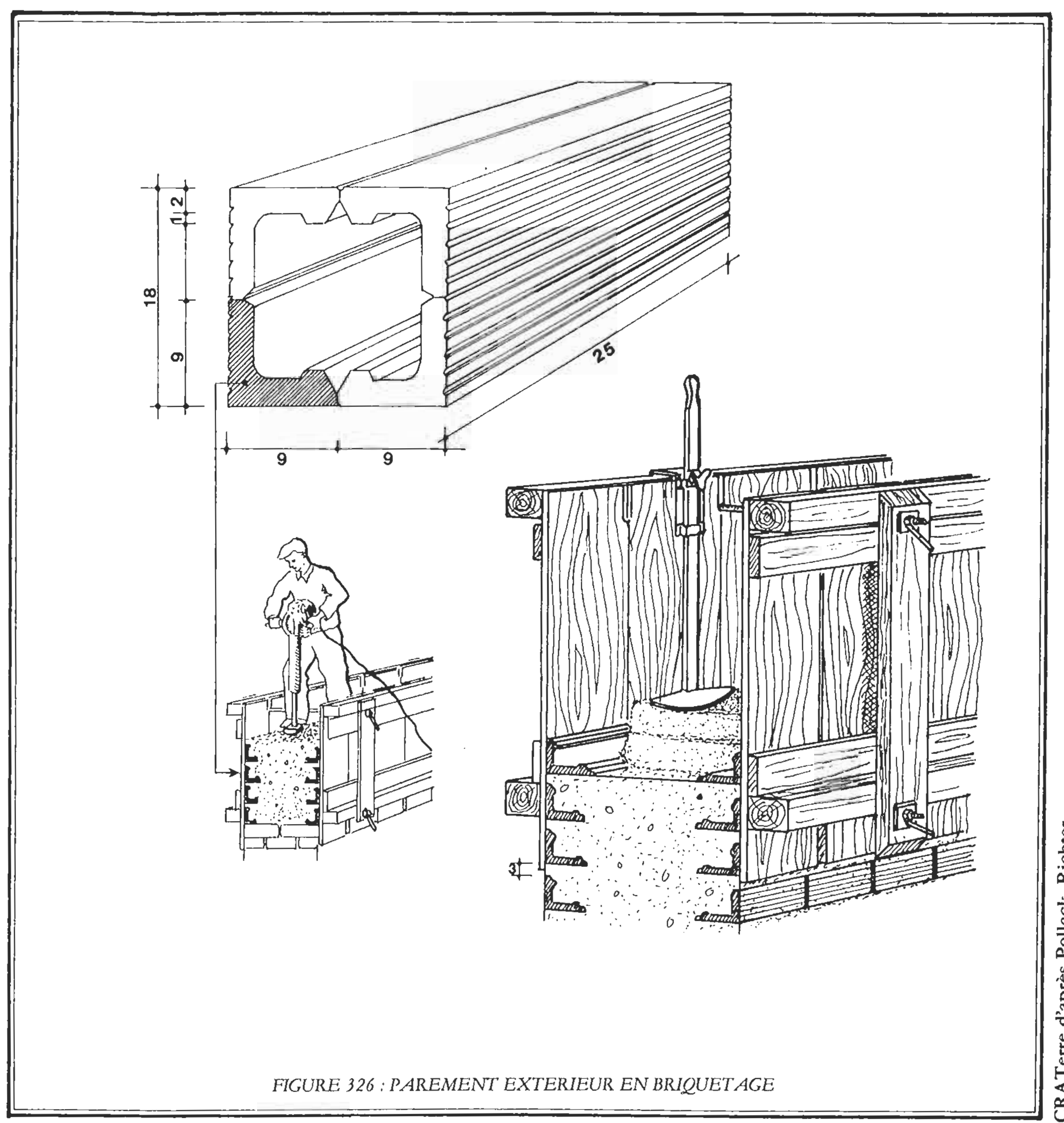


FIGURE 326 : PAREMENT EXTERIEUR EN BRIQUETAGE

CRATerre d'après Pollack, Richter

2) Principes

Les différentes couches d'un enduit ont des résistances différentes et, en général, le dosage de liant va en décroissant à partir du support. La première couche ne doit pas être plus résistante que le support et chaque nouvelle couche doit l'être moins que la précédente. Les couches deviennent ainsi de plus en plus poreuses et perméables à l'air.

Un enduit trop solide résiste aux mouvements du mur (gonflement, retrait, tassement) se décolle, et se fissure.

Un mur de terre brute aura donc un enduit de terre, et un mur de terre stabilisée en revêtement de terre stabilisée.

3) Différents enduits, recettes

Depuis des dizaines d'années, des recherches systématiques ont été faites à grande échelle. Le texte qui suit se base sur l'expérience des quatre programmes suivants :

* 1° Agricultural experiment station, South – Dakota state college (U.S.A.), début en 1932
* 2° CSIRO, Sydney, (Australie), début en 1952

* 3° Laboratoire National des bâtiments et des travaux publics, Dakar, (Sénégal), début en 1954

* 4° Laboratoire national des travaux publics, Brazzaville (Congo), début en 1955.

Tous les enduits doivent être faits à partir de la terre, celle-ci contiendra 50 % de moins d'argile que la terre du mur. Elle sera donc plus riche en sable afin d'éviter les fissures.

Les enduits à la chaux sont beaucoup plus plastiques que ceux stabilisés au ciment. Ils se « faïencent » beaucoup moins et sont donc plus imperméables.

ENDUIT DE TERRE (DAGGA)

On utilise la même terre que celle du mur avec un peu plus de sable. On peut les stabiliser avec des produits naturels. Les fibres végétales sont particulièrement indiquées.

ENDUIT DE TERRE AU CIMENT

On prend une partie de ciment pour 10 parties de terre. Cet enduit est destiné aux murs stabilisés au ciment.

ENDUIT DE TERRE A LA CHAUX

On mélange 1 partie de chaux (chaux grasse si possible) pour 5 à 10 parties de terre. Cet enduit est destiné aux murs stabilisés à la chaux ou au ciment. On peut y ajouter un quart de partie de ciment.

ENDUIT DE SABLE AU CIMENT ET A LA CHAUX (enduit « batard »)

On utilise comme pour un enduit de maçonnerie ordinaire 200 à 500 Kg de liant par m^3 de sable sec. Le rapport ciment /chaux varie de 1/3 à 1. Cet enduit étant trop « résistant », il est nécessaire d'utiliser un système d'accrochage mécanique comme ceux décrits plus loin.

ENDUIT A LA POUZZOLANE

On l'utilise sur les murs stabilisés au ciment, à la chaux ou à la pouzzolane.

ENDUIT AU PLATRE

Le plâtre est très compatible avec des murs en terre. Il convient de l'appliquer sur un enduit de fond renforcé de fibres (paille, etc.) C'est un enduit courant pour l'extérieur. Bien que le plâtre pur ne convienne pas aux enduits extérieurs, on peut l'utiliser en y ajoutant de la chaux grasse éteinte qui le rend plus dur et plus résistant à l'eau.

La première couche est formée de 1 partie de plâtre, de 0,75 à 1 partie de sable (0,5 mm) et de 0,10 à 0,15 partie de chaux grasse éteinte. La deuxième couche est de composition identique mais ne contient pas de sable. Une solution de fluosilicate pulvérisée sur le mur quelques jours après améliore l'imperméabilité de l'enduit.

ENDUIT ARMÉ DE FIBRES

On peut armer les enduits de fibres naturelles ou artificielles (fibres de verre, polypropylène). Celles-ci augmentent la résistance de l'enduit aux chocs et à l'usure et réduisent les micro-fissures. On en ajoute généralement 20 à 30 Kg par m^3 de terre.

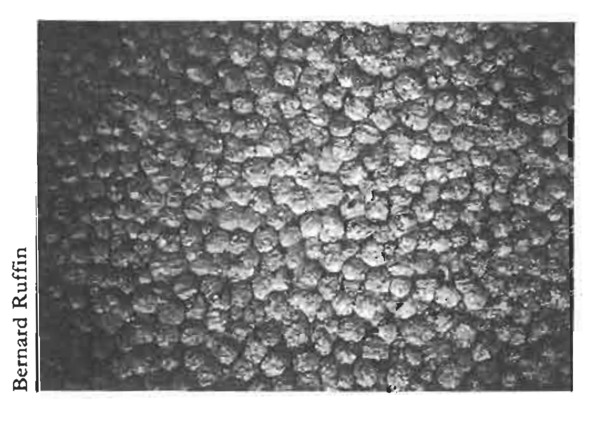
ENDUITS LEGERS

Ce sont des enduits préparés industriellement. Ils sont composés d'un mélange de ciment, de chaux, de granulats légers et d'adjuvants (hydrofuges et entraineurs d'air). Ils sont très souples et isolants, mais demandent une système d'accrochage.

BOULES (fig. 327 et 328)

Des boules de terre de 5 à 7 centimètres de diamètre sont lancées avec force contre la paroi où elles viennent s'écraser. Le mur est alors recouvert de demi-sphères de 10 cm qui ont été dynamiquement compactées.

FIGURE 328 : DETAIL DES BOULES DE TERRE D'UN ENDUIT


Bernard Ruffin

Le retrait ne se produit qu'entre les boules, c'est-à-dire dans des endroits protégés de l'eau. La surface irrégulière du revêtement empêche l'eau de pluie de prendre de la vitesse et de raviner l'enduit.

AUTRES ENDUITS

D'autres sortes d'enduits, dont certains au bitume, ont été essayés mais n'ont pas donné de bons résultats.

4) Préparation du mur

On applique l'enduit sur des murs secs et stables. La préparation des murs se fait selon les procédés suivants :

DEPOUSSIERAGE

Il s'effectue à l'aide d'une brosse dure ou métallique. On commence par le haut du mur et par le côté d'où vient le vent au moment du dépoussiérage. Cette opération est nécessaire après chacune des autres préparations.

GRATTAGE

Avec un rateau, on gratte la surface du mur dans des directions croisées sans entamer la masse du matériau.

BURINAGE

Avec un burin de maçon ou un burin pneumatique à ciseau large et dentelé, on burine le mur. Cette opération est longue mais donne à la surface un compactage supplémentaire.

COUCHE DE FOND AVEC TROUS

Sur une surface grattée et dépoussiérée, on applique un premier gobetis assez liquide. Quand il est presque sec, on jette une seconde couche plus consistante renforcée de fibres de 1,5 cm d'épaisseur. Sur cette deuxième couche on fait, avec un outil approprié **(fig. 329)**, des trous obliques de 2 cm de diamètre espacés de 7 cm. La couche de finition peut alors être plus fortement stabilisée.

CLOUS ENCASTRES

On enfonce des clous dans des trous coniques de 4 cm de diamètre jusqu'au nu du mur brut. Ou bien, sur un premier gobetis de 7 mm, on enfonce, tous les 12 cm, des clous galvanisés de 7 cm à tête large. Ces clous sont placés en désordre pour éviter les fissures longues.

FILET DE FIL DE FER

Tous les 20 centimètres, on enfonce un clou de 7 à 10 cm dépassant de la surface extérieure du mur de 5 à 8 mm. On relie ensuite les clous par du fil de fer galvanisé de 0,5 à 0,7 mm pour former une sorte de filet.

GRILLAGE

Un grillage galvanisé, à mailles hexagonales de 5 cm, est fixé au mur par des crochets de 7 cm. On peut aussi employer des grillages de plafonneur (sans carton) ou du métal déployé.

DECHETS DE POTERIE

Dans les murs en pisé, on peut, au cours du damage, introduire des déchets de poterie tous les 15 cm le long des banches. Après séchage, on gratte la terre entourant ces pièces de céramique autour desquelles viendra s'accrocher l'enduit.

JOINTS GRATTÉS

Les joints des murs en briques sont soigneusement grattés sur une profondeur de 2 cm.

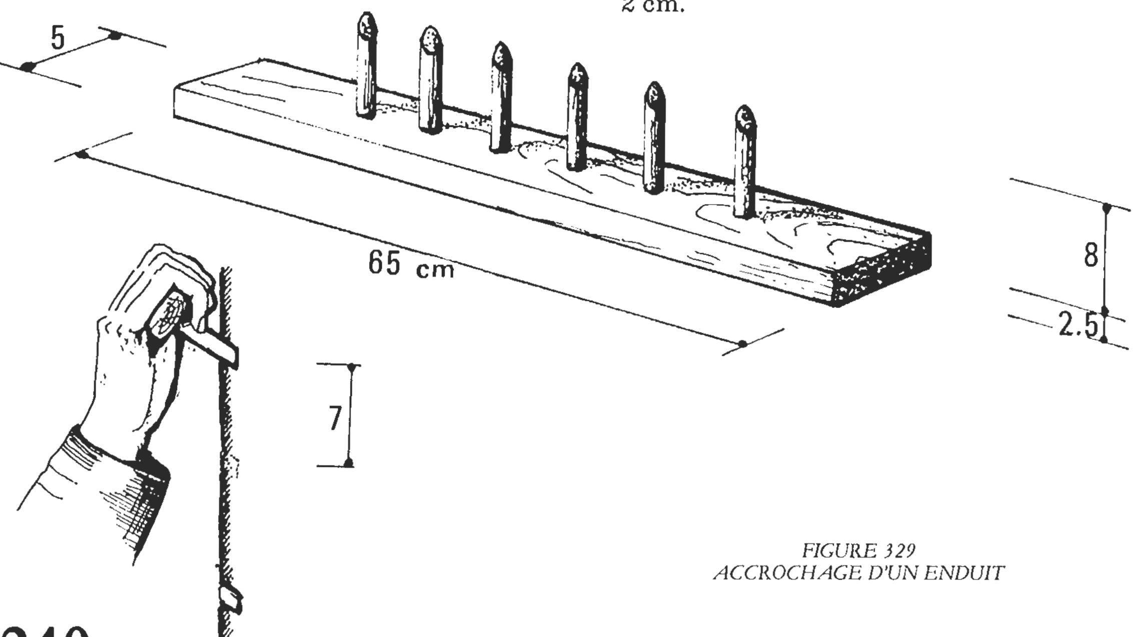


FIGURE 329
ACCROCHAGE D'UN ENDUIT

BLOCS EVIDÉS

Des blocs évidés sont maçonnés de telle sorte que leurs creux se trouvent à l'extérieur du mur et permettent à l'enduit de s'accrocher.

ELEMENTS DE BOIS

Les éléments de bois (linteaux, chaînage, etc.) devant être enduits sont recouverts d'un papier kraft cloué. On place ensuite un grillage dépassant de 20 cm et cloué au mur.

* *
*

En résumé, nous pensons qu'il vaut mieux accorder plus d'importance au système d'accrochage qu'à la composition de l'enduit.

SYSTEMES D'ACCROCHAGE DES ENDUITS			
Procédés	**Constructions**	**Observations**	**Efficacité du procédé**
grattage	pisé	à effectuer systématiquement	médiocre
burinage	pisé	fastidieux	médiocre
couche de fond avec trous	pisé	spécialement pour enduits stabilisés sur murs non stabilisés	très bien
clous encastrés	pisé adobe	fastidieux	moyen
filet de fil de fer	toutes	cher ; à utiliser surtout pour murs tendres	très bien
grillage	toutes	très cher ; à utiliser surtout pour supports tendres	excellent
déchets de poterie	pisé	les déchets doivent être bien encastrés	bien
joints grattés	adobe blocs compactés	plus efficaces avec de petits blocs	très bien
blocs évidés	blocs compactés	blocs spéciaux	bien

5)Application de l'enduit

PRECAUTIONS

Il ne faut pas appliquer les enduits par temps très froid (inférieur à 5°C) ni par temps très chaud (plus de 30°C).
- Eviter le soleil et un vent trop violent.
- Mouiller abondamment le mur avant d'appliquer le gobetis.
- Réaliser des joints horizontaux ou verticaux de façon à former des panneaux de 10 à 20 m^2 sans reprise.
- Terminer une façade en une seule journée.
- Soigner la réalisation des arrêtes et des encadrements des portes et des fenêtres.
- Ne pas appliquer d'enduit sur les soubassements ni sur les parties horizontales.
- Eviter un séchage trop rapide de l'enduit.

REALISATION

Traditionnellement, l'enduit comprend 3 couches ayant chacune son rôle à jouer :

a) couche d'accrochage ou gobetis : sur un support bien préparé, un mortier assez fluide est jeté énergiquement à la truelle. Cette couche doit assurer la liaison entre le mur et le corps de l'enduit. Son épaisseur varie de 2 à 4 mm. On ne se préoccupe pas de la planéité ; le support doit simplement être « sali ».

b) corps de l'enduit : on l'applique 2 à 8 jours après le gobetis en une ou deux couches pour réaliser une épaisseur de 8 à 20 mm. Cette couche est résistante et étanche. On la dresse à la règle. Après un

temps de prise, on retaloche l'enduit pour en améliorer la compacité et refermer les microfissures. Cette couche est enfin striée à la truelle ou brossée pour améliorer l'adhérence de la dernière couche.

c) couche de finition : c'est une couche décorative de 3 à 6 mm. On peut y appliquer divers traitements selon l'effet souhaité :

– La laisser telle quelle sous forme de crépi plus ou moins granuleux (enduit tyrolien).

– La travailler avant le durcissement : enduits au balais, talochés, brossés, striés (enduits ribbés). On peut réaliser des décorations en grattant certaine parties tandis que les autres restent lisses.

– La travailler après durcissement : enduits bouchardés, grésés, etc.

TECHNIQUES PARTICULIERES DE PROJECTION

Le rendement moyen d'un ouvrier très spécialisé travaillant à la main est de 10 à 20 m^2 d'enduit par jour. On peut améliorer ces chiffres en utilisant divers procédés mécaniques :

– **tyrolienne** (ou moustiquette) : c'est une boîte métallique dans laquelle tourne un balais actionné à la main, et qui projette le mortier ;

– **pistolet pneumatique à entonnoir :** le mortier est versé dans un entonnoir à la base duquel un pistolet tenu à la main projette l'enduit. Le pistolet est relié à un compresseur pneumatique ;

– **malaxeur et projecteur d'enduit :** ces machines malaxent le mortier qui est ensuite envoyé sous pression à travers des tuyaux flexibles jusqu'à la lance de projection. Elles peuvent pomper à des hauteurs de 30 m et à des distances de 70 m. Leur rendement varie de 80 à 120 m^2 par heure pour le corps de l'enduit. Une équipe de 3 à 4 hommes peut réaliser ainsi 150 m^2 d'enduit par jour.

6) Stabilisants

Les trois stabilisants conventionnels : ciment, chaux, bitume peuvent convenir. En général, on utilise un dosage identique à celui des murs. Si l'on veut un enduit plus stabilisé, il est préférable d'employer un système d'accrochage efficace.

PRODUITS NATURELS

Nous mentionnons une série de stabilisants parfois employés dans certaines régions. Bien que ces produits n'aient pas fait l'objet de recherches systématiques quant à leur durabilité, ils sont pourtant utilisés en tant que seuls matériaux locaux disponibles :

- **Agave :** C'est une plante mexicaine. De son jus, on peut préparer des boissons alcoolisées ou un stabilisant...

- **Beurre de Karité :** C'est une sorte de graisse végétale appelée parfois beurre de golam. Elle est extraite de l'amade comestible contenu dans le fruit du Karité, arbre d'Afrique tropicale (famille des Sapotacées). Un arbre adulte fournit environ 3,5 Kg d'amandes par an. On jette dans l'eau bouillante les amandes concassées et l'huile qui surnage est recueillie. Celle-ci se solidifie autour de 37°C et forme le beurre de Karité. L'utilisation d'un produit comestible pour stabiliser la terre est peut-être du gaspillage, mais il est possible d'en obtenir des déchets. On les utilise souvent associés à la gomme arabique.

- **Bouse de vache :** on l'emploie comme liant pour renforcer la cohésion de l'enduit.

- **Cactus optuntia :** ce sont des plantes grasses ressemblant au figuier de barbarie. Leur jus est toxique.

- **Farine :** 15 litres de farine sont bouillis dans 220 litres d'eau jusqu'à obtenir une pâte qui est ensuite ajoutée à la terre.

- **Latex d'euphorbe :** ce sont des plantes herbacées ligneuses (famille des euphorbiacées) qui contiennent un latex blanc. Celui-ci est un antiseptique puissant et son contact avec les yeux est dangereux ; il peut rendre aveugle pour 2 ou 3 jours. Son efficacité en stabilisation est discutable.

- **Néré :** on emploie son jus rouge foncé obtenu par décoction de la poudre contenu dans les fruits en juillet.

- **Savon de Peulh :** c'est de la caséîne délayée et battue comme une pâte. Il ressemble à de la colle de bois. Avant de l'ajouter à la terre, il convient de la mélanger soigneusement à de la poussière de briquetterie.

Enfin on se sert quelquefois de **l'urine de bétail** associée à des fibres.

Les peintures

Deux peintures méritent une attention spéciale pour leur rapport efficacité/prix de revient : ce sont le badigeon et le jus de bananier.

1) Le badigeon

Ni sophistiqué, ni coûteux, le badigeon est certainement la peinture la plus appropriée aux murs de terre. Il réfléchit bien le rayonnement solaire et c'est un bon antiseptique. Il résiste aux alcalis et à l'exsudation du bitume. Il lui faut cependant des adjuvants pour améliorer sa résistance aux intempéries car il n'est pas très durable. Il s'applique par pulvérisation ou à la brosse et se teint très facilement. On admet, en général qu'il faut chauler deux fois par an : avant l'automne et après l'hiver ou avant et après la saison des pluies.

Voir page suivante (p. 244) le tableau de 12 recettes de badigeons.

2) Le jus de bananier

Pour l'obtenir, on fait cuire dans de l'eau, en remuant constamment, des tiges et des feuilles de bananiers coupées en petits morceaux. Lorsque le liquide devient épais, on le tamise. On peut l'utiliser pur ou mélangé à de la latérite. Cette peinture peut durer de 1 à 3 ans et résister à des averses torrentielles.

3) Les peintures industrielles

- **Peinture à la détrempe :** applicable sur tous les murs sauf les plus friables. L'enlever entièrement avant d'appliquer une autre peinture.
- **Peinture aux silicones :** ne donne pas toujours de bons résultats.
- **Peinture au latex :** très efficace sur la terre stabilisée au ciment.
- **Peinture au ciment :** appliquée sur des murs stabilisés au ciment elle peut durer 8 à 10 ans.
- **Peinture à l'huile :** une couche primaire est nécessaire pour neutraliser l'alcalinité du mur et éliminer les exsudations de bitume.
- **Peinture à base de bitume :** sur les murs stabilisés au bitume, il est conseillé d'appliquer une peinture d'aluminium à base de bitume.
- **Peinture à base de résines :** souvent efficaces.
- **Cut-backs :** on peut l'appliquer directement sur le mur qui devient gris ou noir.

4) Les produits chimiques

Certains stabilisants chimiques des argiles utilisés d'habitude pour traiter la masse du mur ou de l'enduit peuvent s'appliquer comme peintures. Au lieu de les incorporer au sol au cours du malaxage, on se contente d'en revêtir la surface des murs. Ces produits pénètrent plus ou moins dans le matériau, mais stabilisent la surface.

- **Silicate de sodium :** on étend à la brosse une partie de silicate de sodium (40° baumé) en solution dans 3 parties d'eau. Deux couches successives sont nécessaires.
- **Parafine :** la parafine est diluée dans de la benzine. On l'étale à une température supérieure à 21°C.
- **Hydrophobants :** il s'agit de produits à base de silicone : HYDROSOL, SECO SEAL, CONSIL, CONSERVADO 5.

Ces produits sont chers et ont un rendement faible.

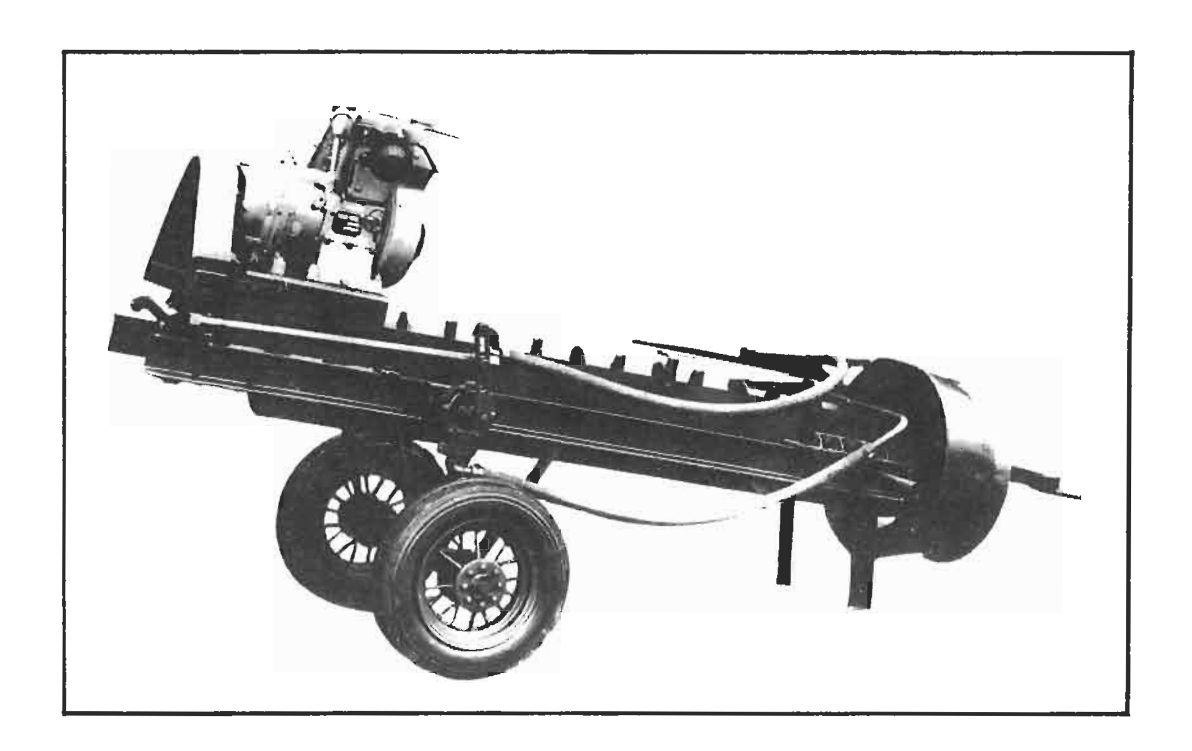
5) Les produits naturels

Les stabilisants naturels utilisables pour les enduits peuvent servir de peintures. A la liste des produits déjà cités, on peut ajouter la colle de fromage blanc et le savon de lessive. Ce dernier est fabriqué en faisant dissoudre un savon à l'acide stéarique dans 15 litres d'eau. On y ajoute deux litres de ciment et deux litres de sable pour obtenir une peinture.

□

DOUZE RECETTES DE BADIGEONS

Produits	Unités	dissoudre au préalable dans	RECETTES 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
chaux vive	kg		20	20	20	20	20				20			
chaux hydratée	kg							20	20	20		20	20	20
eau	l		47	40	40	49	40	24	24	52	40	50	50	40
suif	kg	eau chaude	2											
gros sel	kg			5	0,6	0,8						1	2	
ciment Portland	kg			2										10à20
sulfate de zinc	g	3,2 l d'eau			320									
lait écrémé	l				6,5									
farine de seigle	g	1,6 l + 6,5 l d'eau				800								
colle animale	kg	10 l d'eau bouillante					1,4							
colle coséïne	kg	8 l d'eau chaude							2					
trisodium phosphate	kg	4 l d'eau							1,2					
formaldéhyde	l	12 l d'eau							1,5					
alun	kg	eau bouillante								0,15	1	0,45	0,45	
huile de lin	l									0,8				
mélasse	l											6,2		



11. LES MALAXEURS

Dans ce chapitre nous avons regroupé quelques malaxeurs qui peuvent être utilisés pour la préparation de la terre. Nous les classons dans un tableau suivant six types et donnons une explication des caractéristiques ainsi que les adresses des constructeurs.

Remarquons que le béton de terre, stabilisé ou non, ne se comporte pas de la même façon que le béton au ciment classique. En effet, il a une cohésion intrinsèque importante, que le béton ordinaire n'a pas. Une partie des matériaux à mélanger, la partie argileuse, possède une teneur en eau naturelle non négligeable qui rend difficile une homogénéisation et surtout un mélange intime de la terre avec le stabilisant.

Il est important de proscrire les bétonnières classiques : les bétonnières à tambour horizontal à inversion de sens de marche et les bétonnières à tambour rotatif inclinable. Elles peuvent être utilisées éventuellement, pour l'adobe après une période de « pourrissage » suffisante.

Le tableau **(fig. 330)** propose une liste des malaxeurs qui conviennent à la préparation de la terre.

1	2	3	4	5	6	7
PLAN DE L'AXE DE ROTATION	SYSTEME DE MELANGE	NOM DU TYPE	VOLUME CLASSIQUE (L)	Débit Journalier m^3 de TERRE moulée	APPLICATION IDEAL	
					CONSISTANCE DE LA TERRE	STABILISANT
MALAXEURS A ARBRE ROTATIF VERTICAL	PALETTES	(1) TURBO-MALAXEUR	250/180 à 3000/2500	12.5 à 100	SEC	Ciment Chaux Bitume Fibres
		(2) MALAXEUR VERTICAL	250/180	12.5	PLASTIQUE LIQUIDE	Bitume Fibres
	MEULES	(3) MALAXEUR A MEULES	80	7	PLASTIQUE LIQUIDE	Bitume Fibres
MALAXEURS A ARBRE ROTATIF HORIZONTAL	PALETTES	(4) MALAXEUR HORIZONTAL A PALETTES	200/130 à 350/230	8 à 19	SEC PLASTIQUE LIQUIDE	Ciment Chaux Bitume Fibres
	VIS HELICOIDALE INTERROMPUE	(5) MALAXEUR LINEAIRE		16 à 50	HUMIDE	Bitume Fibres
	FRAISES	MOTOCULTEUR (6) A FRAISE			SEC	Ciment Chaux Fibres

Caractéristiques

1. Plan de l'axe de rotation

Les malaxeurs sont divisés en deux grandes familles qui ont un principe de conception fondamentalement différent. La qualité de malaxage est cependant très satisfaisante pour les deux.

MALAXEURS A ARBRE ROTATIF VERTICAL

Le mélange se fait dans un plan horizontal, alors que l'axe de rotation du mécanisme de malaxage est vertical. Quant au récipient, c'est un cylindre dont le diamètre se trouve dans un plan horizontal.

MALAXEURS A ARBRE ROTATIF HORIZONTAL

Ici le mélange se fait dans une cuve ou dans un cylindre déformé et couché dont le diamètre se trouve dans un axe vertical. Le mécanisme de malaxage, lui, est entraîné par un axe qui se trouve dans un plan horizontal.

2. Système de mélange

PALETTES

Des palettes de formes et de dimensions variées, suivant l'importance de la cuve, sont entraînées par des bras reliés à l'arbre de rotation. Elles sont inclinées à différents angles de façon à obtenir un maximum de mouvement dans la matière à mélanger. Fabriquées en acier très résistant, elles sont interchangeables. Une partie de ces palettes doit râcler le fond et les côtés de la cuve afin de la nettoyer complètement à chaque déchargement.

Les arbres entraînant ces palettes sont souvent pourvues d'un système de suspension afin d'éviter des blocages et des surcharges de moteur.

Les palettes nombreuses et relativement petites ne peuvent être reliées entre elles pour former une seule pale hélicoïdale.

MEULES

Des meules qui peuvent être lestées, tournent dans le fond d'une cuve, où elles pétrissent la matière pour former une substance homogène. Un système secondaire à palettes rejette la matière en-dessous des meules et évite ainsi une ségrégation.

VIS HELICOIDALE INTERROMPUE

Des palettes directement soudées sur l'axe rotatif et qui vont de celui-ci jusqu'à quelques millimètres de la cuve, sont montées pour l'ensemble constitue une véritable vis d'Archimède interrompue.

Quelques palettes sont parfois montées dans un sens contraire pour ralentir le mouvement de la matière.

FRAISES

(sur motoculteur)

Des fraises à quatre dents sont montées sur un axe horizontal et pénètrent dans le sol sous le poids de l'appareil.

3. Nom du type

Pour mieux identifier les malaxeurs, les fabricants leur ont donné des noms différents. Quelque fois ceux-ci diffèrent pour des malaxeurs à systèmes quasiment identiques. Nous garderons les noms les plus usuels. Après la description générale un exemple de chaque type de malaxeur sera présenté.

4. Volumes classiques

Les volumes sont exprimés **en litres. Le premier chiffre** indique le volume d'agrégats qui peut être chargé dans le malaxeur.

Le deuxième exprime soit le volume de béton à la sortie du malaxeur, soit le volume de béton mis en œuvre et vibré.

Dans le premier cas le rapport est de 1,33, dans le deuxième le rapport est de 1,50. Ces chiffres sont fortement arrondis.

Pour la terre, le volume chargé peut être le même, mais le volume de béton de terre mis en œuvre a un rapport de 1,70. Par exemple : un malaxeur pouvant charger 500 L produira 375 L de béton, 333 L de béton vibré, 294 L de terre mise en œuvre.

Les petits malaxeurs jusqu'à 375/250 L sont souvent disponibles avec des moteurs à essence ou diesel.

A partir de 375/250 jusqu'à 3000/2000 les malaxeurs sont exclusivement équipés de 3 groupes de moteurs électriques : 1 pour le malaxeur, 1 pour la benne, 1 pour l'ouverture de la trappe de déchargement. Les moteurs doivent être pourvus d'une protection efficace contre la poussière et d'une isolation dite « tropicale » s'ils sont employés dans des climats chauds.

5. Débit journalier

Les débits varient énormément en fonction du rythme de l'alimentation du malaxeur et de la consistance de la matière à travailler (sèche, plastique ou humide). Nous nous sommes donc efforcés de mentionner des débits qui correspondent à une infrastructure simple et qui tiennent compte du fonctionnement optimum du malaxeur suivant la consistance de la terre.

Pour les types (1) turbomalaxeur et (2) malaxeur vertical, on peut obtenir le débit approximatif journalier en divisant le volume de charge par 20. Par exemple, un malaxeur de 750/500 L a un débit journalier d'environ 37,5/25 m^3.

6. Application idéale suivant la consistance de la terre

SEC

La terre a la consistance d'une pâte sèche lorsqu'elle ressemble à une semoule de couscous (teneur en eau à l'optimum proctor : 14 %).

PLASTIQUE

Pour un état plastique, le mélange obtenu a la consistance d'une pâte feuilletée (T.E.= Wp)

LIQUIDE

Lorsque la pâte est liquide, le mélange obtenu correspond à la consistance des briques d'adobe fraîches, c'est-à-dire que la matière garde sa forme après démoulage immédiat comme une purée épaisse (T.E. $>$ Wp).

7. Stabilisant

Les stabilisants mentionnés correspondent à la consistance de la terre indiquée ci-dessus. Nous ne parlons ici que de stabilisants classiques.

Modèles de malaxeurs

Un nombre impressionnant de modèles de malaxeurs existe sur le marché. Nous communiquons simplement quelques adresses de constructeurs pour les cinq types que nous avons exposés, ce sont les plus connus et les plus appréciés par les entreprises de génie civil. Les prix ne sont pas mentionnés, car ils sont fonction de l'infrastructure dont sera doté le malaxeur.

Pour des budgets prévisionnels très approximatifs on peut cependant obtenir une idée de l'ordre de grandeur du prix du malaxeur simple avec son système de benne : il suffit de multiplier le chiffre exprimant la capacité du malaxeur par 180 FF.

Exemple : un malaxeur 750/500 coûtera environ :

750 x 180 FF = 135 000 FF (F.O.B. *).

1. Turbomalaxeur

Les turbomalaxeurs, très classiques, sont fabriqués par un grand nombre de constructeurs. Il existe des malaxeurs à action concentrique et à action forcée. Certains modèles ont une cuve rotative alors qu'elle est fixe en général. Le déchargement se fait par une trappe centrale ou latérale.

Ces malaxeurs sont presque toujours équipés de moteurs électriques. Certains constructeurs équipent les modèles de 350 litres au plus avec un moteur diesel **(fig. 331)**.

Constructeur : Rock (France) - Route de Saint-Pierre - 07200 Aubenas

* F.O.B. = livré au port d'expédition, prêt pour l'embarquement.

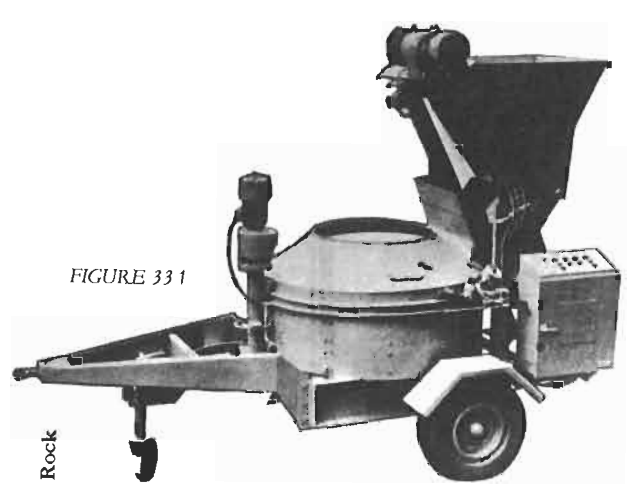


FIGURE 331

Rock

2. Malaxeur vertical

Ce type de malaxeur est particulièrement adapté pour la fabrication de briques

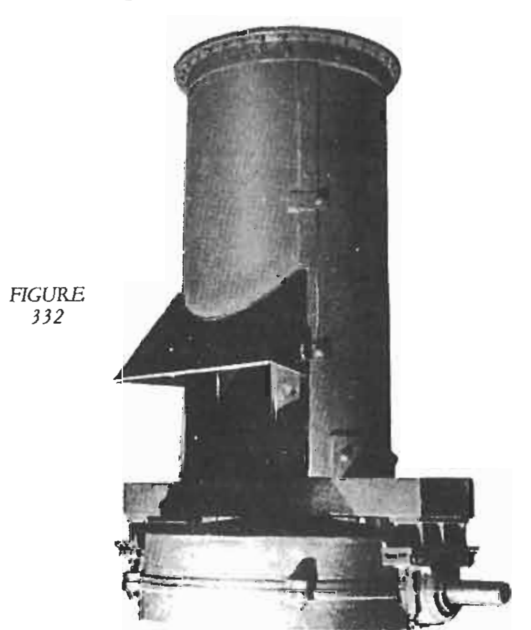


FIGURE 332

Villers Pervin

d'adobe. Il peut être manuel ou mécanique **(fig. 332)**.

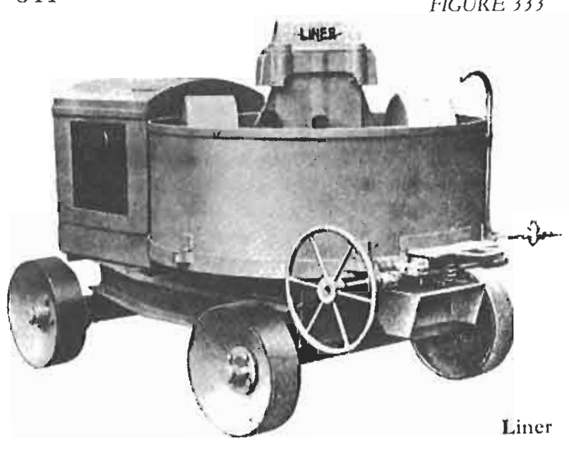
Constructeur : Les Ateliers de Villers Perrin (Belgique), 210, rue Emile Gossieux.

3. Malaxeur à meule

Les malaxeurs à meules sont idéals pour la fabrication de briques d'adobe par moulage à la main **(fig. 333)**.

Constructeur : LINER (ENGLAND), B.P.O. Box 12 Park Road Gateshead NEB 344

FIGURE 333



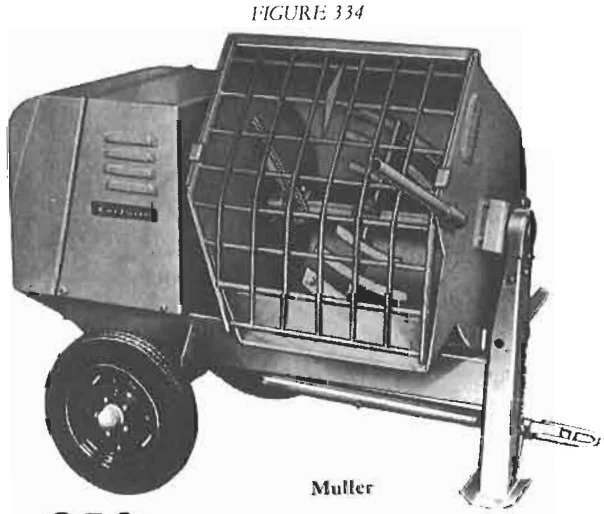
Liner

4. Malaxeur horizontal à palettes

Ces malaxeurs sont les plus manipulables et les plus pratiques. Un malaxeur de ce type est monté sur la presse CLU 2000 **(fig. 334)**

Constructeur : MULLER Machinery Company (U.S.A.) Netighen- New-Jersey 08840

FIGURE 334



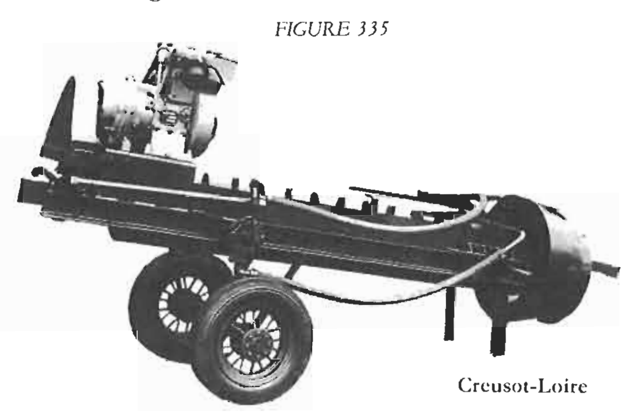
Muller

5. Malaxeur linéaire

Ces malaxeurs ont un débit continu. Un système synchronisé permet d'ajouter automatiquement la quantité d'eau et de bitume nécessaire **(fig. 335)**.

Constructeur : CREUSOT-LOIRE (FRANCE) Division Ermont 16, rue Chauveau Lagache - 75383 PARIS

FIGURE 335



Creusot-Loire

6. Malaxeur motoculteur à fraise

Cet outil a été utilisé en R.D.A. et bien qu'il ne soit pas conçu à l'origine pour le malaxage il peut convenir pour le mélange des terres sèches. La manipulation est réduite car la terre est travaillée sur place. Cette machine effectue un travail plus profond et plus rapide qu'un malaxage manuel **(fig. 336)**.



Manufrance

GLOSSAIRE

ADOBE : Mot espagnol souvent employé en français et en anglais pour désigner la brique crue. Cette technique consiste à mouler sans compactage des briques avec de la terre et à les laisser sécher au soleil.

ASPHADOBE : Adobe stabilisée au bitume.

ATAKWA : Désigne le mur constitué par d'épaisses bandes d'assises d'environ 40 cm de haut, sur 20 à 30 cm d'épaisseur. La terre malaxée au pied est mise en place et dressée à la main. Ce type de construction est toujours réalisée par des maçons du Togo, de Haute-Volta et du Bénin.

BANCHE-COULE : Terre à l'état liquide coulée entre deux coffrages. La coulée peut se faire en une opération sur toute la longueur du mur, ou progressivement. Les fissures de retrait sont bouchées après séchage.

BANCO : Synonyme d'adobe et par extension désigne toute paroi verticale dans laquelle entre une proportion de terre malaxée. Les parois peuvent être constituées par une armature en bois, roseaux, bambous, constituant un quadrillage ligaturé par des lianes, et dont les interstices sont comblées par de la terre malaxée, ensuite égalisées aux deux faces, et généralement enduites d'un mortier de terre.

BAUGE : Désigne un mélange de terre et de paille, pour construire des murs sans utiliser de coffrage – FRANCE – C'est un mélange assez épais de sol sableux argileux, d'eau et de paille. On l'applique par couches successives et sans coffrage ; puis on égalise les parois au fur et à mesure. (Bousillage, cob, façonnage direct).

BETON DE TERRE : Terme récent considérant le matériau comme un mélange dosé de graviers, de sable et de limon, liés par de l'argile.

BETON DE TERRE STABILISE : Béton de terre dans lequel un agent stabilisant (ciment, chaux, bitume...) améliore les qualités (résistance à la compression, imperméabilité, etc...).

BIGOTS : Nom employé dans le Nord de la Vendée (France) pour désigner les pelletées de terre que l'on empile pour la construction du mur (voir bauge).

BITUDOBE : Adobe stabilisé au bitume (origine U.S.A).

BLOC DE TERRE DECOUPE : Le bloc est découpé directement dans là carrière sans préparation ni mélange de la terre.

BOULE DE TERRE : Terre souvent liée avec de la paille, même type de préparation que l'adobe, sauf qu'ici il n'y a pas de moule, on façonne des boules qui seront séchées sur place et ensuite mises en œuvre pour monter des murs.

BOUSILLAGE : Voir Bauge.

BRIQUE ou BLOC DE TERRE COMPRESSEE : La terre est damée dans un moule ou comprimée à l'aide d'une presse.

B.T.S. : Béton de terre stabilisé.

CAJON : Type de construction en terre dans laquelle on construit des panneaux avec un mélange de terre. Technique ressemblant au Colombage Clayonnage Garnissage.

CHIKA : Désigne un enduit fait de mortier de terre et de paille. Origine amharique, Ethiopie.

COB : Voir Bauge. Origine anglaise, on a utilisé de la même façon un mélange d'eau et de craie écrasée.

COLOMBAGE : Charpente en bois dont les vides sont comblés par du clayonnage-garnissage, par des briques ou tout

autre matériau pouvant servir de remplissage. Dans ce procédé la terre n'est pas porteuse elle sert uniquement de remplissage.

DAGGA : Un mélange d'argile, de sable et d'eau, utilisé comme mortier pour la pose des blocs de terre compressés et comme enduit pour protéger les murs. On lui ajoute souvent un stabilisant.

FAÇONNAGE DIRECT : Voir Bauge, cob, Atakwa.

GARNISSAGE : Un mortier de terre appliqué à la truelle ou à la main, des deux côtés d'une armature de lattis pour faire des murs minces (voir clayonnage).

CLAYONNAGE-GARNISSAGE : Méthode consistant à enduire de terre une armature de bois préalablement garnie d'un clayonnage ; on poursuit l'opération jusqu'à ce que toutes les fissures soient remplies. (En anglais Wattle-and-Daub).

GEOBETON : Désigne le béton de terre, utilisé selon le procédé GEOTEK pour la construction en terre.

JLOOS : Construction en terre d'origine soudanaise.

KACHA : Construction en terre d'origine indienne.

MECATER : Autre dénomination pour le Béton de terre stabilisé.

MOTTE DE TERRE : Maison dont les murs et éventuellement les toits, sont construits avec des blocs de tapis végétal ; on place en général vers le bas le côté herbeux. Ce genre de construction fut très utilisé aux U.S.A. ; se dit SOD ou SODDYS. Origine Nebraska et Kansas.

PISE : C'est une méthode qui permet de construire des murs d'un seul tenant avec de la terre que l'on compacte à l'aide d'une dame dans un coffrage.

PISER : (lat. Pinsare) Battre la terre entre deux planches pour la rendre plus compacte et propre à servir à des constructions plus économiques.

PISEUR ou PISEYEUR : Celui qui bâtit en pisé.

PISON : Masse avec laquelle le piseur bat la terre dans les banches. (on dit aussi Pisoir ou Pisard).

POT-O-POT : Boue.

SWISH : Désigne la latérite – swish-crete = mélange de latérite et de ciment – Ghana.

TAUF : Mot arabe pour le pisé.

TAIPA : Clayonnage-garnissage origine portugaise.

TAPIA : Terme employé au Pérou pour le pisé.

TERONI : Construction analogue à la brique d'adobe et aux soddys : des blocs de tapis végétal sont enlevés du sol, séchés au soleil, et utilisés pour construire des murs. Une église ainsi construite en 1621 au Nouveau-Mexique est encore en bon état.

TERRACRETE : Béton de terre stabilisé au ciment. Origine U.S.A.

TERRE STABILISEE : Désigne le mélange d'argile sableuse, d'eau et d'une certaine quantité d'agents stabilisants tels que la chaux, le ciment, les émulsions de bitume, etc... Ces stabilisants augmentent la résistance à l'humidité. Utilisée pour faire des murs, des briques... Désigne aussi le mélange utilisé dans la construction routière.

TORCHIS : Mélange de terre et d'eau lié par des fibres utilisé avec une structure de bois pour élever des murs. Origine française.

TOUB : Brique crue – arabe et français.

TUBALI : Terme ouest-africain désignant des briques piriformes, faites à la main à partir d'un mélange de terre, d'eau et de brins d'herbe fraîche ou séchée. Les tubalis sont placés sur trois ou quatre rangs, leur partie renflée étant assise dans du mortier ; la couche suivante est placée de façon à ce que les parties renflées viennent s'encastrer dans les pointes inférieures. Origine nigérienne.

WATTLE AND DAUB : Dénomination anglaise pour le clayonnage garnissage.

liste des ORGANISMES

Algérie

Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment * (L.N.B.T.P.)
Route des 4 canons – Alger

Allemagne

Fröbenius – Institut
Gœthe Universität, Liebigstrasse 41, 6 Frankfort – Main

Interdisziplinare Projektgruppe Für Augepasste Technologie (I.P.A.T.) 1000
Berlin 33 Leutzealee 86

TTL Technologietransfer – Leistelle am IPA
Holzgartenstr 17, D – 7000 Stuttgart 1

Australie

Commonwealth Experimental Building Station *
P.OBox 30 Chats Wood NSW Sydney

Belgique

P.G.C. Post Graduaat Centrum *
Katholieke Universität Leuven
Department of architecture
Kasteel Arenberg – B. 3030 Heverlee

Brésil

C.E.P.E.D. Centro de Pesquisas e Desenvolvimento
Setor de Documentaçãe e Informaçãe
Caixa Postal 09 42800 – Camaçari – Bahid

Cameroun

Centre de Recherches et d'Etudes des Travaux Publics
ou Public works Research and Investigation Center (CRETP)
Boîte Postale n° 2004 Yaounde – Messa

Canada

Brace Research Institute
P.O Box 900 Mac Donald College of Mc Gill University
Sainte Anne de Bellevue 800 – Quebec HOA ICO

Low Cost Housing Group
Mc Gill University – Montreal PQ

Colombie

Centro de desarrollo integrado "las gaviatas" Ap.
Aero 18261 Bogota

Congo

Laboratoire National d'Etudes et des Travaux Publics
Boîte Postale n° 752 Brazzaville

Côte d'Ivoire

Centre de Recherches Architecturales et Urbaines (CRAU)
Boîte Postale 8892 Abidjan

Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics *
Boîte Postale n° 4003 Abidjan

Dahomey

Centre National d'Essais et de Recherches du Bâtiment
et des Travaux Publics
BoBoîte Postale n° 1270 Cotonou

Egypte

Building Research Institute
Tahreer Street Dokki - Giza - Egypte

Ethiopie

Département d'Essai et de Recherche des Matériaux
Faculté de Technologie Université d'Addis Abbeba - B.P. 518 Addis Abbeba

France

Centre d'Etude du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP)
12 rue Briançon - Paris

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)
4 avenue du Recteur Poincaré - 75016 Paris

. CRATerre *
Centre de Recherche et d'Application Terre
Haut-Brié - 38320 Eybens

Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques (GRET)
34 rue Dumont d'Urville - 75116 Paris

O.R.E.A.M.
37 bd Perier - Marseille 13285 Cedex 2

Secrétariat des Missions d'Urbanisme et d'Habitat (S.M.U.H.)
11 rue Chardin - 75016 Paris

Unité Pédagogique d'Architecture de Grenoble (UPAG)
10 Galerie des Baladins - 38100 Grenoble

Gabon

Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics
Boîte Postale n° 766 Libreville

Ghana

Building and Road Research Institute Council
for Scientific and Industrial Research
University - Post Office Box 40 Kumasi

Technologie Consultancy Center *
Université de Science et de Technologie Kumasi Ghana

Département de la Recherche et de la Planification de l'Habitat *
Faculté d'Architecture - Université des Sciences et de la Technologie - Kumasi

Grande-Bretagne

A.R.C.
11 Percy Street - London W.1

Building Research Station
Garston

I.T.D.G.
9 King Street - London WC 2E 8 HN

Guatemala

CEMAT
8 a Calle 6.06 Z.I. Edificio Elma Apto 602 - Ap Postal 1160

Haute-Volta

Association pour le Développement Naturel d'une Architecture et d'un Urbanisme Africains ADAUA *
B.P. 648 Ouagadougou

Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics
Boîte Postale n° 133 Ouagadougou

Ecole Inter-Etats d'ingénieurs de l'Equipement Rural, IER
Ouagadougou BP 7023

Inde

Centre of Science for Villages
Magan Sangrahalaya Wardha 442001

Khadi and village industries commissions - Grandaya
3 Irla Road - Vile park - West Bombay 400 056

Centre for development studies
Aakulam Road - Ulloor Trisvandrum 695011 Kerala

Central Building Research Institute *
Roorkee - Uttar pradesh

Indian Institute of Science
Bangalore - 560 012

Iran

Université BOU-ALI-SINA
Ali - Sina B.P. 302 Hamadan

Develoment Workshop *
224 Saba Shomali - Téhéran

Kenya

Unité chargée des Recherches sur les questions de logement et de Construction
Université de Nairobi - Box 30197

Village Technology UNIT *
c/o UNICEF P.O Box 44145 - Nairobi

Liberia

Unité de Laboratoire des Sols et des Matériaux
Département des Travaux Publics - Monrovia

Madagascar

Laboratoire National des Travaux Publics et du Bâtiment
Boîte Postale n° 1151 - Alarobia - Tananarive

Mauritanie

Association pour le Développement Naturel d'une Architecture et d'un Urbanisme Africains * - ADAUA
B.P. 55 Rosso

Maroc

Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat - D.U.H. *
8 rue de Figuig - Rabat

Laboratoire Public d'Essai et d'Etudes *
25 rue d'Aziral - Boîte Postale n° 389 Casablanca

Mexique

CEESTM
Cor^l Porfirio Diaz 50 - San Jeronimo Lidice - Mexico 20 DF

Nigeria

Département de l'Aménagement Foncier
Université de Ife-Ile - Ife Nigeria

Faculté de Génie Civil
Université de Lagos - Lagos

Pays-Bas

Tool Mauritskade
61 a, AD 1092 Amsterdam

Pérou

Instituto de investigación para la acciòn en vivienda
Inviavi - Lima

Universidad Nacional de ingenieria
Departamento de Estructuras y Construcción - Lima

Oficina de investigación y normalización
Ministerio de Vivienda y Construcción,
Av. 28 de Julio n° 1004, 90 Piso - Lima

Philippines

Regional Adaptive Technology Centre (RATC)
Mindanao State University - Marawi City

Sénégal

Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes pour l'Equipement (C.E.R.E.E.Q.)
Boîte Postale n° 189 Dakar - Hann

ENDA - Relais Technologique
BP 3370 - Dakar

Soudan

Station Nationale de Recherches en Construction
Université de Khartoum - B.P. 35 Khartoum

Suisse

Association pour le Développement Naturel d'une Architecture et d'un Urbanisme Africains (ADAUA) *
Route de Ferney - 1202 - Genève

Tanzanie

Unité Nationale de Recherches sur les Questions de Logement et de Construction *
Ministère du Logement et de l'Aménagement du Territoire
Dar-Es-Salam P.O Box 9344

Togo

Centre de la Construction et du Logement à Cacavelli *
B.P. 1762 Lomé

Ecole Africaine et Mauricienne d'Architecture et d'Urbanisme E.A.M.A.U.
B.P. 2067 Lomé - Togo

Tunisie

Institut Technologique d'Art et d'Architecture et d'Urbanisme
Route de l'armée nationale - Tunis

U.S.A.

Adobe Today *
c/o Adobe News, Inc P.O Box 702 Los Lunas NM 87031

California State University
Fresno Foundation Fresno, California 93710

Institute for Social and Research and Development the University of New-Mexico
Albuquerque New-Mexico 87196

M.I.T. Massachussets Institute of Technology
Architectural Department 77 Massachussets Avenue - Cambridge 02138

VITA 3706 *
Rhode Island Avenue - Mont Rainier MD 20822

*** Recommandation "spéciale" pour ces centres ayant une documentation disponible ou une expérience pratique dans le domaine de la construction en terre.**

BIBLIO GRAPHIE

Sachant que beaucoup de publications sont difficiles à trouver, nous présentons une bibliographie sélective classée par sujet. Nos critères de sélection ont été déterminés par la qualité des ouvrages et la facilité avec laquelle on peut se les procurer ou les consulter en bibliothèque.

Nous possédons plus de 800 documents dans notre bibliothèque. En fait notre bibliographie actuelle se situe autour de 2000 titres représentant une grande partie de la documentation mondiale. Elle fera l'objet d'une publication spéciale.

CLASSIFICATION

– GENERAL : *Ouvrage général sur la construction en terre ou sur les différentes techniques de mise en œuvre.*

– PISE, BAUGE, SOD..., ADOBE, BRIQUE COMPRESSEE, ENDUIT : *Ouvrage dont le sujet principal est celui qui est indiqué, il peut aussi contenir des informations dites « générales ».*

– TERRE STABILISEE : *Ouvrage traitant aussi bien de l'adobe que du pisé... mais met l'accent plus particulièrement sur la stabilisation.*

– *NORMES ET ESSAIS*

GENERAL

1. **AMRI , BOUILLANE Ch., DOAT P., SEGURA L., VITOUX F.,** *Construction en terre*,PARIS, Institut de l'environnement, 1975 – 133 p.

2. **ARZOUMANIAN V., BARDOU P.,** *Archi de terre*, Marseille, Edition Parenthèses, 1978, 103 p.

3. **BCEOM,** *La construction en béton de terre*, Bureau central des équipements d'Outre-Mer, Paris, 1952 – 65 p.

4. **BOUILLANE Ch., DOAT P.,VITOUX F.,** *Minimôme découvre la terre*, Grenoble, Unité pédagogique d'architecture, 1975, 360 p.

5. **CEPED,** *Manual de construçao com bolo cimenta*, Bahia, Centro de pesquisas e desenvolvimento, 1978, 140 p.

6. **CRET,** *Maisons en terre*, PARIS, Centre régional d'éditions techniques, 1956.

7. **CRET,** *Bâtir en terre*, PARIS, Centre régional d'éditions techniques, 1962, 157 p.

8. **DELAVAL B.,** *La construction en béton de terre*, ALGER LNBTP, 1971, 48 p.

9. **EARTH FOR HOMES,** *Department of housing and urban development*, WASHINGTON, 1955, 70 p.

10. **EASTWICK FIELD, CLOUGH WILLIAMS ELLIS,** *Building in cob, pisé and stabilized earth*, London Country life limited, 1947, 164 p.

11. **KAHANE J.,** *Local materials. A self Builder's Manual*, London, Publication Distribution Co-operative, 1978, 200 p.

12. **MIDDLETON G.F.,** *Earth Wall construction Pisé or Rammed Earth Adobe or Ruddled earth stabilized earth*, Sydney Australie, Commonwealth Experimental Building Station, 1952, 46 p.

13. **MIDDLETON G.F.,** *EARTH WALL CONSTRUCTION I. choice of soil and methods of construction*, Sydney Australie, Commenwealth Experimental Building Station, 1951, 4 p.

PISE - BAUGE - SOD

14. **COINTERAUX,** *Même maison de terre sortant de la main de l'ouvrier*, Ecole d'architecture rurale, PARIS, Fuchs, 1790, premier cahier 31 p, 2e cahier 50 p.

15. **DELONG H.H.,** *Rammed earth walls*, South Dakota State College, U.S.A., 1959, 19 p.

16. **FAUTH W.,** *Der praktische Lehmbau*, R.F.A., Limes-Verlag, Wiesbaden, 1946, 130 p.

17. **GOIFFON,** *L'art du maçon piseur*, PARIS le Jai, 1772, 60 p.

18. **MERRIL ANTHONY F.,** *The rammed earth house*, NEW YORK, Harper and Bros, 1947, 230 p.

19. **MIDDLETON G.F.,** *Earth wall construction II Rammed earth (pisé)*, Sydney Australia, Commonwealth Experimental Building Station, 1964, 4 p.

20. **NIEMAYER,** *Der Lehmbau, seine praktische « Anwendung »*, R.D.A., 1946.

21. **OLIVER P.,** *Shelter in Africa*, London, 1971, Barrie and Jenkins.

22. **PATTY R.L. MINIUM L.W.,** *Rammed earth walls for farms buildings*, U.S.A. Agricultural Experiment Station South Dakota State College, 1945, 63 p.

23. **POLLACK RICHTER,** *Technik des Lehmbaues*, R.D.A., 1952, 172 p.

24. **RONDELET J.,** *Traité de l'Art de bâtir*, PARIS, DIDOT, 1840, 34 à 112 p.

25. **SCHEICHER E.,** *Technik des Lehmbaues*, Berlin, 1952, Verlag Technit.

26. **WHITTEMORE H.L., STANG A.H., HUBBELLE, DILL RICHARD,** *Building Materials and structures*, Washington, United States Government Printing Office, 1941, 56 p.

27. **WELSCH R.L.,** *Sod walls*, Nebraska U.S.A., Purcens Inc, Broken Bow, 1968, 208 p.

ADOBE

28. **BAINBRIDGE BUNTING,** *Early architecture in NEW MEXICO*, NEW MEXICO University of New Mexico press, 1976, 122 p.

29. **BOUDREAU E.H.,** *Making the adobe brick*, California U.S.A., Fifth Street Press, 1974, 87 p.

30. **Center for environmental research and development of the University of New Mexico,** *A study of the feasibility of mechanized adobe production New Mexico,* U.S.A., Four corners regional commission, Farmington, 1970, 50 p.

31. **CLOUGH Richard HUDSON,** *A qualitative comparison of rammed earth and sun dried adobe brick,* U.S.A., University of New Mexico, 1950, 68 p.

32. **CONCHA O., YAMASHIRO R.,** *Diseño sismo – Resistente de Muros de Adobe.*

33. **DENYER S.,** *African traditional architecture,* heinemann educational books LTD, London, 1978, 210 p.

34. **FATHY H.,** *Construire avec le peuple,* PARIS, Edition Jérome Martineau, PARIS, 1970, 310 p. et Annexe 55 p.

35. **GRAHAM HENRY Mc Jr.,** *Adobe – Build it yourself,* The University of Arizona Press, 1974, 156 p.

36. **GROBEN Ellis,** *Adobe Architecture – Its design and construction,* U.S.A., Department of Agriculture, 1941, 24 p.

37. **HOLMES,** *Mud brick roof,* International Housing Service Washington 1957, 9 p.

38. **LITTLE A.D.,** *Demonstration of stabilized mud bricks in Egyptian village housing,* Washington US Department of State, 1953, 58 p.

39. **MARTIN R.,** *Manuel d'architecture grecque,* PARIS, A. et J. Picard et Cie, 1965, 522 p.

40. **MIDDLETON G.F.,** *Earth wall construction III Adobe (Puddled earth),* Sydney Australia, Commonwealth Experimental Building Station, 1951, 4 p.

41. **MILLER T.A.M.,** *Adobe or sun dried brick for farm buildings,* U.S.A., Department of Agriculture, 18 p.

42. **Ministerio de vivienda y construcción, Reglamento nacional de construcciones,** *Normas de diseño sismo resistente construcciones de adobe,* LIMA, Ministerio de vivienda y construcción, nov. 1977, 7 p.

43. **Ministerio de vivienda y construcción,** *Construyendo con adobe,* LIMA, Instituto de investigación para la Acción en vivienda (INIAVI).

44. **Ministerio de vivienda y construcción,** *Mejores vivendas de adobe,* LIMA, nov. 1975.

45. **MORALES R., YAMASHIRO R., SANCHEZ A.,** *Proyecto de bloque estabilizado estructuras,* LIMA, O.I.N., sept. 1976.

46. **NEUBAUER L.W.,** *Adobe construction methods,* U.S.A., University of California, Department of Agriculture engineering, 32 p.

47. **SCHULTZ K.V.,** *Adobe craft – illustrated manual,* U.S.A., Castro Valley 1974, 72 p.

48. **SOUTHWICK M.,** *Build with adobe,* CHICAGO, The Swallow Press, 1974, 225 p.

49. **STEDMAM Mend W** *Adobe architecture New Mexico,* U.S.A., The Sunstone Press, 1971, 42 p.

50. *Sundried block low cost housing,* Kumasi Ghana, Faculty of Architecture, 50 p. 1969.

51. **International Institute of Housing Technology,** *The Manufacture of Asphalt Emulsion – Stabilized soil bricks and brick makers manual,* Fresno, California, U.S.A., 1972, 79 p.

52. **THOMAS T., EYRE M.E.,** *The physical properties of adobe used as a building material,* U.S.A., University of New Mexico, 32 p.

BRIQUE COMPRESSEE

54. **CINVA,** *Making building blocks with the cinva-ram,* U.S.A., 1966, 20 p.

55. **GLENN H.E.,** *Pressed clay for building construction,* Clemson, U.S.A., Department of Civil Engineering, 1951, 21 p.

56. **GLENN H.E.,** *Rammed earth building contruction,* Clemson, U.S.A., Department of Civil Engineering, 1943, 23 p.

57. **GRESILLON J.M.,** *Etude sur la stabilisation et la compression des terres pour leur utilisation dans la construction,* PARIS, Annales de l'Institut technique du bâtiment et des travaux publics, mai 1976, 14 p.

58. **JESSE S. OKIE,** *Block press handbook for making soil blocks with a "tek-block" press,* Kumasi, Ghana, Faculty of Architecture, 1970, 29 p.

ENDUIT

59. **DREYFUS J.**, *Peinture et moyens de protection divers pour constructions en terre ou terre stabilisée.*

60. **HAMMOND A.A.**, *Prolongation de la durée de vie des constructions en terre sous les tropiques*, PARIS, Bâtiment International mai-juin 1973.

61. **PATTY R.L.**, *Paints and plasters for rammed earth walls*, South Dakota U.S.A., state college, 1940, 39 p.

62. *Long life coating*, Garston GrB, Building Research Station, 1971, 8 p.

63. **DAKAR**, *La protection des constructions en terre ou en terre stabilisée*, Bureau des recherches bâtiment et habitat, 1956, 27 p.

TERRE STABILISEE

64. **AFFIA A.**, *Le béton de terre stabilisée*, MAROC, Direction de l'Urbanisme et de l'Habitat, 1971, 17 p.

65. **CINVA**, *Le béton de terre stabilisé et son emploi dans les travaux de construction*, O.N.U., 1964, 129 p.

66. **DANSOU P.A.**, *La terre stabilisée matériau pour la construction des maisons*, TOGO, ministère des Travaux publics, Mines, Transport, Routes et Télécommunications, 1972, 45 p.

67. **DELAVAL B.**, *Le béton de terre stabilisé ; un matériau nouveau pour le Tiers-Monde*, Neuf, Journal n° 48, 1974, 5 p.

68. **DREYFUS J.**, *Manuel de constructions en béton de terre stabilisée*, DAKAR –Bureau des recherches bâtiment et habitat, 1954, 85 p.

69. **FITZMAURICE R.**, *Manuel de constructions en béton de terre stabilisée*, O.N.U., 1958, 139 p.

70. **FLORENTIN, DUFOURNET**, *Maisons en béton de terre stabilisée*, PARIS, Institut technique du bâtiment et des travaux publics, circulaire série D, n° 12 –déc. 1945, 18 p.

71. **LE ROUX A.**, *Caractéristiques mécaniques des roches argileuses en relation avec leur texture*, Bulletin Liaison Labo P. et Ch. 61, sept.-oct. 1972, p. 155 à 178.

72. **MIDDLETON G.F.**, *Earth wall construction IV stabilized earth*, Sydney Australia, commonwealth experimental building station, 1964, 4 p.

73. **REEF**, *Béton de terre et béton de terre stabilisé*, PARIS, CSTB, Documents techniques DT C 2001 – 1950 – 4 p
DT C 2101 – 6 p
DT C 2102 – 3 p

74. **SHARMA S.V.**, *Making soil stabilized bricks*, Chandigarh India, Rural Housing Wing, 32 p.

75. **SMUH**, *Terre stabilisée terre armée*, PARIS, SMUH, 1974, 122 p.

76. **T.P.**, *Etude préliminaire sur la terre stabilisée*, Alger, ministère des Travaux publics et de la Construction, 1975, 42 p.

NORMES ET ESSAIS

77. **ASTM**, *Methods of test for soil, cement mixtures*, Philadelphia, U.S.A., Standards of Testing Materials, 1963, 16 p.

78. **PCA**, *Soil – Cement laboratory handbook*, Illinois, U.S.A., Portland Cement Association, 64 p.

79. **PCA**, *Soil – Cement inspectors manual*, Illinois, U.S.A., Portland Cement Association, U.S.A., 49 p.

80. **Texas Highway Department**, *Manual of testing procedures*, Texas U.S.A., Volume I, Texas U.S.A., Volume I, Texas highway Department, 1970.

81. *Normas de dosagens e metodos ensaios Dosagem das mistura de solo cimento*, Bresil, Associaçaô brasileira de ciments Portland, 1965, 21 p.

82. *Uniform building code California*, U.S.A., International conference of building officials, 1973, 704 p.

83. *Uniform building code standards*, California, U.S.A., International conference of building officials, 1973, 301 p.

TABLE DES MATIERES



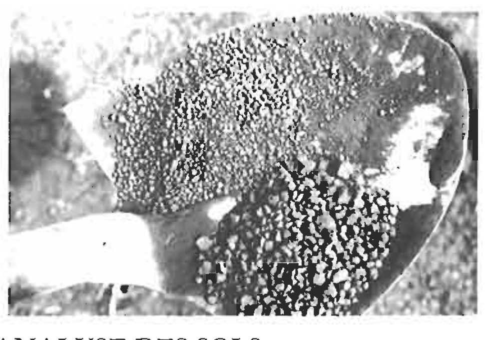




III – L'ADOBE



IV – BRIQUES DE TERRE COMPRESSEES



V – ANALYSE DES SOLS



VI – CARACTERISTIQUES DU MATERIAU TERRE







CRATerre

CENTRE DE RECHERCHE ET D'APPLICATION – TERRE –

Le Centre de Recherche et d'Application – Terre – est une association à but non lucratif, régie par la loi de 1901. La mise en commun des expériences de personnes travaillant dans la même optique sur les problèmes de l'habitat a permis sa création. Le centre se donne notamment pour buts :

- de promouvoir la prise en charge des problèmes d'aménagement de l'espace par les collectivités locales,
- d'améliorer les conditions d'habitat des populations les plus défavorisées,
- de favoriser la production et le contrôle par l'usager de son propre cadre de vie.

Le type d'intervention recherchée s'appuie en particulier sur : l'utilisation des potentialités socio-économiques à partir de leur développement historique ainsi que sur l'exploitation optimum des données physiques du milieu (matériaux locaux, données bio-climatiques...)

La recherche entreprise actuellement sur la construction en terre, n'est qu'un élément de la problématique envisagée. Toutes les autres formes de technologie sont également prises en compte, dans la mesure où elles se définissent comme appropriées/appropriables pour la population.

AXES DE TRAVAIL

Pour répondre à ces objectifs, le CRATerre oriente ses actions sur les points suivants :

A. Montage de projets de développement, avec la participation de la population locale.

- création de relais d'appui technique
- mise en place de briquetteries avec matériel léger (presses, malaxeurs...)
- installation d'entreprises artisanales
- formation professionnelle
- diffusion d'information
- réalisations architecturales (locaux communautaires, logements...) etc.

B. Consultation sur des projets de construction en cours.

- études de faisabilité
- assistance à la conception
- suivi de chantiers

C. Recherche sur l'amélioration de l'habitat.
- au niveau du matériau (stabilisation de la terre..., mise en œuvre, étude de matériel de chantier, etc.)
- définition d'une conception architecturale adaptée aux données locales :
  . enquêtes sur l'habitat populaire
  . recherche de solution (prise en compte du savoir-faire)
  . élaboration de critères de choix

D. Publications - Expositions - Conférences - Stages.

MOYENS

L'association ne fonctionne pas, à l'heure actuelle, avec un personnel salarié à temps complet. Elle se compose d'une équipe pluridisciplinaire regroupant : architecte, ingénieur, socio-économiste – travaillant sur contrats.

Venant d'horizons divers, ceux-ci ont pu participer à des projets très différents.
- Construction de villages agraires pilotes en terre stabilisée - Algérie 1973-1976 (ministère de l'Agriculture)
- Mise au point d'un prototype de presse à briques de terre et d'une banche à pisé modulable - Grenoble 1974 (UPAG)
- Etude et expérimentation de la construction en terre à Vignieu -Isère 1976 (ministère de l'Equipement)
- Installation de briquetterie avec stabilisation à froid ; Rosso -Mauritanie 1978 (ADAUA) - Kamboinsé, Haute-Volta 1979 (Coopération technique suisse - ADAUA)
- Etude de faisabilité de trois centres pour agriculteurs - Cameroun 1978 (ADAUA - UIPE)
- Etudes techniques pour le centre administratif de la Wilaya de Tamanrasset - Algérie 1978.
- Mission d'évaluation de plans urbains - Bamako 1979, Bujumbura 1979.
- « Assistance architecturale » - rénovation de maisons en pisé Dauphiné - Bresse, etc., construction d'un espace-jeu en briques de terre - Grenoble 1979 (Pierres Fendues)
- Création d'un relai d'appui technique à Huancayo – Pérou – en cours.
- Publications :

« Construction en terre » – CERA Paris 1974
. « Minimôme découvre la terre » UPA Grenoble 1975
. « Presses et malaxeurs pour la construction en terre » - ADAUA Genève 1977
. « Architecture traditionnelle en terre au Pérou » UP6 Paris 1978
. « De la terre pour bâtir : manuel pratique » UPA Grenoble 1979
. « Fiches techniques » GRET Paris 1979.

RELATIONS EXTERIEURES

Le CRATerre entend développer des relations avec toute institution, organisme, association, ou groupement ayant les mêmes objectifs ou les favorisant.

ADRESSE DU SIEGE SOCIAL

CRATerre, Centre de Recherche et d'Application – TERRE –
Haut-Brié - 38320 Eybens – FRANCE –

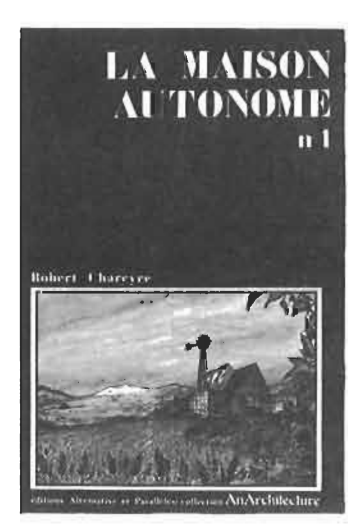
UNE NOUVELLE COLLECTION :

AnArchitecture

« Nous ne pensons pas que les problèmes de l'ENVIRONNEMENT seront résolus par les Spécialistes. Nous ne pensons pas que les Urbanistes changeront quelque chose au chaos des villes, ni que les Architectes embelliront suffisamment nos demeures, ni que les géomètres empêcheront un jour la spéculation de ronger les terrains, ni que les sociologues trouveront le moyen d'éliminer la grande solitude de l'homme dans la foule des hommes, ni que les psychiâtres recolleront toujours les pots cassés par l'ennui et l'incohérence.
Nous ne pensons pas que les fonctionnaires aient le droit de normaliser nos besoins (et nos rêves ?...) dans des grands livres cartonnés, de planifier la construction des « habitats sociaux » et de regagner audacieusement chaque soir leur hôtel particulier (ce ne sont pas les petits fonctionnaires qui établissent les normes...)
Nous croyons que seuls les « habitants » peuvent (et doivent *pouvoir) résoudre les problèmes profonds de l'habitat. Pour cela, il faut qu'ils soient MOTIVES, donc INFORMES réellement, et surtout, il faut qu'ils puissent s'introduire dans les processus de DECISION.*
Il faut, il faut... alors, on rêve ?... »

« Cahier d'anarchitecture », mai 1971.

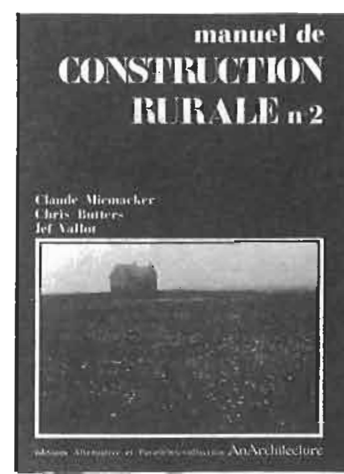
Cette nouvelle collection « AnArchitecture » s'adresse à tous ceux qui osent penser qu'ils ont leur mot à dire et leurs manches à retrousser dès qu'il s'agit de leur environnement le plus immédiat : leur habitat, à tous ceux qui désirent le développement d'une architecture sans architectes, contrôlée par les habitants.
Voici quelques titres de la collection AnArchitecture, dans l'ordre prévu de leur parution.

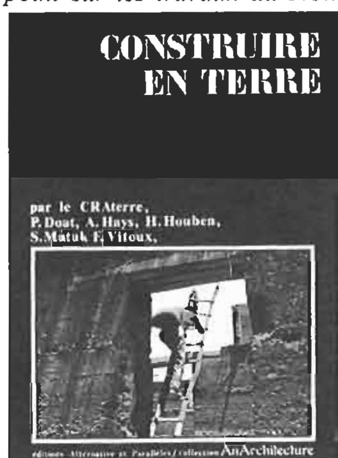


● **MANUEL DE CONSTRUCTION RURALE N° 2, par Micmacker, Vallot et Butters.** *« Dans ce livre, nous ne voulons que vous faire partager notre conviction que l'acte de bâtir en famille ou entre amis, pour autant que l'on choisisse bien les techniques, les matériaux et les amis peut être la source de grandes joies et d'un plaisir rare : l'année où vous construisez vous-même votre maison est l'année la mieux payée de votre vie, même si vous vous mettez en congé sans solde. »* **128 pages, 100 illustrations.**

● **LA MAISON AUTONOME N° 1, par Robert Chareyre, 3e édition avec corrections.** *« Par sa conception et son intégration dans l'environnement immédiat, cette maison autonome permet à ses habitants de consommer ce qu'ils produisent et de produire l'essentiel de leur consommation. Le chauffage leur est fourni par le soleil, le bois. L'électricité leur vient du vent, de l'eau. Les légumes du potager sont cultivés avec l'apport des déchets recyclés. Cette autonomie n'appartient pas au passé mais préfigure au contraire une vie post-industrielle. »* **224 pages, 250 illustrations.**

● **LA MAISON AUTONOME N° 2, par Robert Chareyre (sortie prévue pour septembre 1980).** *« La première partie de ce livre traitera de la conception thermique globale d'une habitation en allant du plus simple au plus complexe sur le plan technique et en essayant de chiffrer à chaque étape le coût et le résultat (de l'isolation aux pompes à chaleur en passant par le puits canadien, la serre sud, le stockage intersaisonnier, etc.) (...) La deuxième partie sera axée sur l'interaction habitat/environnement et en particulier sur l'interaction production d'énergie/production végétale. La serre attachée à une habitation est l'élément type qui caractérise cette interaction ; aussi, une grande place lui sera réservée : étude de l'écosystème et son rôle possible dans l'économie rurale, le point sur les travaux du New Alchemy Institute. »*





● **CONSTRUIRE EN TERRE, par le Craterre (Doat, Hays, Houben, Matuk et Vitoux).** *« Une des caractéristiques de la construction en terre est la grande variété de sa mise en œuvre... Nous présentons ici les techniques du pisé, le banché coulé, le façonnage direct, l'adobe (ou brique crue), les briques compressées, ainsi que les techniques « mixtes » combinant la terre avec un autre matériau (fibres végétales ou bois). Ce sont les procédés les plus connus et les plus répandus dans le monde. (...) Pour nous, bâtir en terre signifie : procurer aux populations défavorisées les moyens d'améliorer leur habitat, et aussi permettre que par le biais de ce matériau de construction très particulier, s'établissent des rapports différents donnant à l'usager le contrôle de son cadre de vie. »* **272 pages, 350 illustrations.**

● **L'HABITAT DES TROGLODYTES, par Charreau, Trebbi et Margas (à paraître en février 80).** *Deux grandes parties : d'une part une étude des conditions d'établissement de l'habitat troglodytique, de l'architecture et de l'histoire de ce type d'habitat à travers une typologie englobant les réalisations du monde entier, d'autre part un relevé précis de ce type d'habitat en France accompagné d'éléments technique de construction, de restauration et d'aménagement. Le dernier chapitre est consacré aux projets et réalisations contemporaines, aussi bien en France qu'à l'étranger.* **256 pages, plus de 250 illustrations.**

● **ARCHITECTURE NOMADE, par Denis Couchaux (à paraître en avril 80).** *L'habitat des nomades est intimement lié à leurs conditions d'existence, à leurs croyances ; cet ouvrage, essentiellement technique : matériaux, principes de construction, transports... reliera sans cesse mode de vie et type d'habitat. Les abris étudiés vont des plus classiques (tentes, tipi, yourtes, huttes...) à des abris plus « modernes » (bateaux-maisons, roulottes, camping-cars...).* **200 pages, une trentaine de planches, une centaine de dessins.**

● **CONSTRUCTIONS EN BOIS, par Pierre Shasmoukine (à paraître en mai 80).** *Ouvrage technique sur l'utilisation de différents types de bois dans l'architecture contemporaine. Après une présentation générale de ce type de matériau dans l'architecture de chaque pays, l'auteur insiste sur les possibilités actuelles d'utilisation, la commercialisation, l'organisation du chantier, et propose quelques structures types de constructions utilisant le bois seul ou le bois mêlé à d'autres types de matériaux.* **200 pages, une centaine d'illustrations.**

● **POUR UNE RENAISSANCE DU PATIO, par Djafari et Garby (à paraître en septembre 80).** *On a beaucoup parlé de l'utilisation du soleil et du vent pour résoudre des problèmes de chauffage. Moins d'études portent sur l'utilisation de ces énergies pour assurer un effet contraire : la climatisation et le rafraichissement d'espaces habités. Tirant l'expérience des réalisations du Moyen-Orient, les auteurs étudient les possibilités d'adaptation de ces systèmes, traditionnels ou récents, à la France, et d'une manière plus générale à l'Europe.* **200 pages, 150 schémas et illustrations.**

quelques titres parus

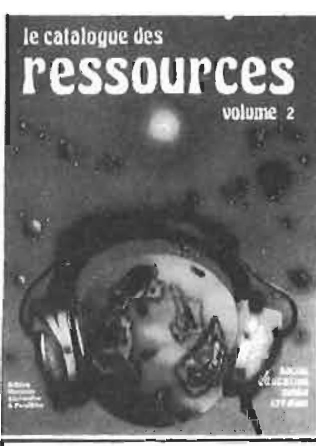
ressources

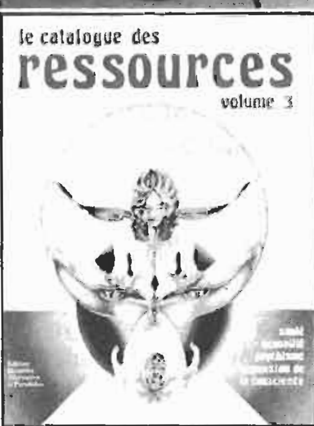
« CATALOGUE DES RESSOURCES » Le volume I (nourriture, vêtement, habitat, transport) est maintenant épuisé.

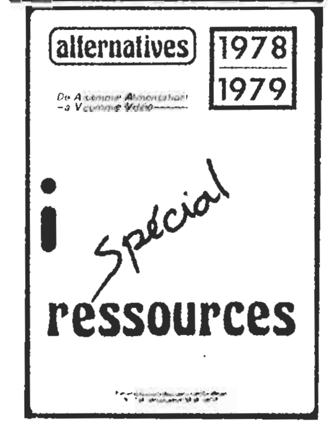
Le volume 2 (social, éducation, média, création) comprend 272 pages, plus de 600 illustrations. C'est une 2e édition avec une mise à jour. Prix : 31,50 F

Le volume 3 (santé, sexualité, psychisme, expansion de la conscience) comprend 296 pages et plus de 700 illustrations. 2e édition. Prix : 35 F

Le « SPECIAL RESSOURCES » (N° 7/8 de la revue « Alternatives ») est une réactualisation des 3 volumes du « Catalogue des Ressources ».De A comme Alimentation à V comme Vidéo en passant par E comme Energies ou M comme Mômes, les secteurs de la vie alternative qui ont le plus « bougé » ces derniers mois. 250 pages, 500 illustrations. Prix : 28 F







Irremplaçable *(LE NOUVEL OBSERVATEUR)* Passionnant *(MARIE FRANCE)* Un super pense-bête *(CHARLIE HEBDO)* Une boite à changer la société *(LA GUEULE OUVERTE)* Formidable *(LE SAUVAGE)* Intelligent. *(RTL)* *Epais et copieux* *(ROUGE)* Des informations indispensables *(SECRETAIRES D'AUJOURD'HUI)* Bizarre *(LE MONDE DE L'EDUCATION)* A garder précieusement *(ROCK ET FOLK)* Salutaire pour l'esprit *(FEMMES D'AUJOURD'HUI)* An alternative life style, french style *(PARIS METRO)* Pratique et bien informé *(BONNES SOIREES)* Le vade-mecum de notre temps *(ELLE)* Une boite pleine d'idées *(LIRE)* En cherchant une page, on en lit dix autres *(LE MONDE)* Indispensable *(SON MAGAZINE)* Une mine de tuyaux *(PILOTE)* touffu sans être confus *(CHANSON)* L'avez-vous ? *(SEXPOL)* Plein de bonnes adresses *(MON OUVRAGE MA MAISON)* Utile et attachant *(DROIT ET LIBERTE)* Pour ne pas mourir idiot *(TARTEMPION)* A mettre en mains de tout homme curieux *(PANORAMA DU MEDECIN)* A consulter souvent *(LE QUOTIDIEN DU MEDECIN)*... à condition de trier dans ce fatras *(QUOTIDIEN DU PEUPLE)* Les folles le lisent *(GAIE PRESSE)* Un livre de chevet *(QUOTIDIEN DE PARIS)* Fameux *(ANTIROUILLE)* Un outil *(DON QUICHOTTE)* Quel régal ! *(TEMOIGNAGE CHRETIEN)* Une bonne mine *(MAISON PRATIQUE)* Fantastique *(TELE 7 JOURS)* Bien conçu *(MAGAZINE LITTERAIRE)* Une redécouverte de nous-mêmes *(OSMOSE)* Un almanach d'aujourd'hui *(MAGAZINE LITTERAIRE)* Le manuel le plus complet à date *(MAINMISE)*

aux éditions Alternative....



alternatives



● Face à femmes, numéro 1 de la revue « Alternatives ». Prix : 19,60 F

Tout ce pourquoi les femmes se sentent aujourd'hui prêtes à se battre : un livre brûlant. *(FEMME PRATIQUE)* Touffu, foisonnant, ce « face-à-femmes » frôle l'explosion *(AH !NANA)* Un fouillis pas très rigoureux, mais finalement assez sympathique. *(ROCK ET FOLK)*



● La presse d'expression locale,
numéro 2 de la revue « Alternatives », prix : 19,60 F.

Une lacune bizarre : le catalogue des journaux « différents « passe sous silence « Antirouille ».*(ANTIROUILLE)* On y parle même du « Couramiaud » *(LE COURAMIAUD)* Ça fourmille d'idées , de renseignements collectés dans chaque rédaction locale. *(LE CLAMPIN LIBERE)*

● La Maison Autonome, « Alternatives » N° 3/4, est maintenant inclus dans la collection Anarchitecture (voir page suivante).

Désobéissance civile, revue « Alternatives » n° 5, prix : 19,60 F.

Pourquoi désobéir, et comment le faire : un livre que ni les généraux, ni les dirigeants d'EDF n'offriront à leurs enfants.*(SUD)* Un numéro en mosaïque plein d'autosatisfaction et d'illusion, un bon catalogue de la marge, de la démerde. Du désespoir politique aussi. *(ROUGE)* Traiter dans un seul temps de la désobéissance civile et des luttes autonomes relève un peu de la provocation... Mais, si collage il y a, celui-ci est prodigieusement fructueux. *(LA GUEULE OUVERTE)*

● Sur la route, encore... revue « Alternatives » n° 6, prix : 19,60 F.



Vous y apprendrez à franchir une frontière à cheval. On ne sait jamais. *(LE FIGARO)*

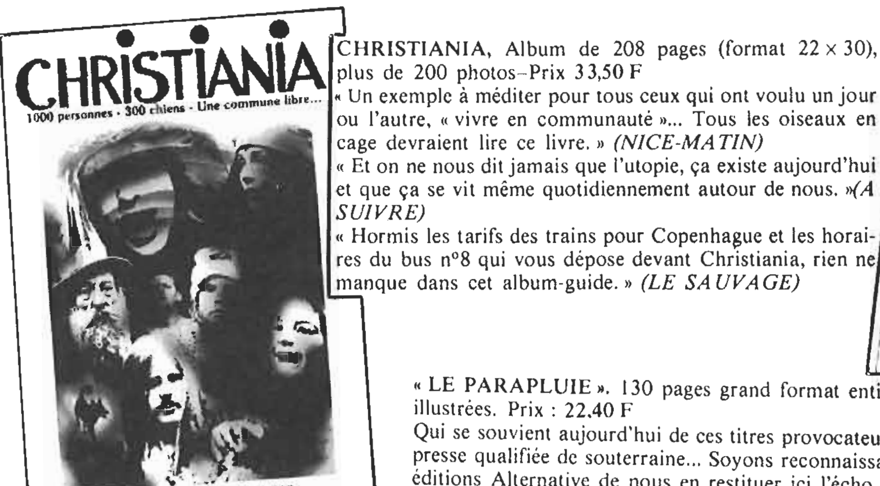
C'est pratique, réaliste, drôle et insolite. Génial, quoi. *(TELERAMA)* This guilde will have you on your feet and on your way in no time. *(PARIS METRO)*

● Spécial ressources, revue « Alternatives n° 7/8 – Voir page ci-contre.

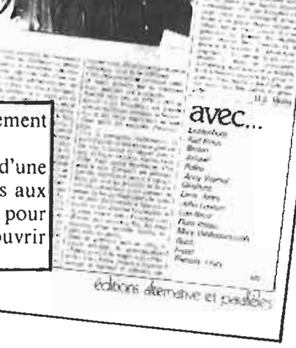


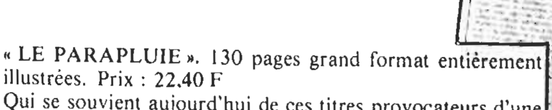


....et aussi :

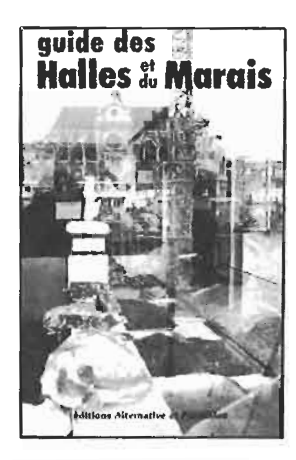


CHRISTIANIA, Album de 208 pages (format 22 × 30), plus de 200 photos–Prix 33,50 F
« Un exemple à méditer pour tous ceux qui ont voulu un jour ou l'autre, « vivre en communauté »... Tous les oiseaux en cage devraient lire ce livre. » *(NICE-MATIN)*
« Et on ne nous dit jamais que l'utopie, ça existe aujourd'hui et que ça se vit même quotidiennement autour de nous. »*(A SUIVRE)*
« Hormis les tarifs des trains pour Copenhague et les horaires du bus n°8 qui vous dépose devant Christiania, rien ne manque dans cet album-guide. » *(LE SAUVAGE)*





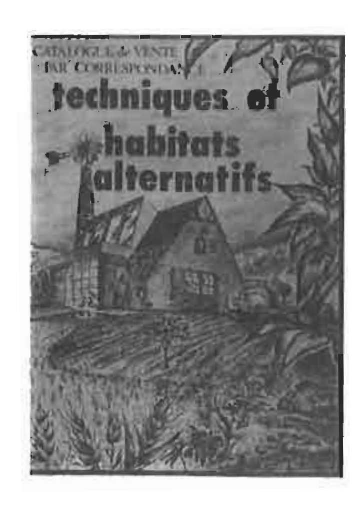
« LE PARAPLUIE ». 130 pages grand format entièrement illustrées. Prix : 22,40 F
Qui se souvient aujourd'hui de ces titres provocateurs d'une presse qualifiée de souterraine... Soyons reconnaissants aux éditions Alternative de nous en restituer ici l'écho, et pour ceux qui n'auraient pas connu cette aventure, de découvrir cet autre monde. *(IL)*



Guide des Halles et du Marais, 224 pages (format 13,5 × 18) très illustrées + plans très précis. Prix : 29 F

« Les renseignements utiles, les bonnes adresses... Tout y est. C'est simple, il n'y a qu'à lire. Se promener aussi. » *(LE NOUVEL OBSERVATEUR)*
« Voilà un livre pas sage, écrit dans la langue du ventre de Paris, un livre invitation au voyage... il ne prendra pas longtemps la poussière dans la bibliothèque. »*(MAINTENANT)*
« Ils aiment leur quartier. Cela se sent si bien qu'ils nous donnent très envie d'aller le redécouvrir, cette fois-ci en initié. » (LES ECHOS)

Alternative c'est aussi deux librairies situées dans le centre de Paris et un réseau de diffusion de livres.



Pour plus de renseignements sur l'ensemble de nos activités demander :
– LE CATALOGUE EDITION – DIFFUSION 1980 ALTERNATIVE ET PARALLELES (gratuit).
– LE CATALOGUE « TECHNIQUES ET HABITATS ALTERNATIFS » (1,50 F) (demande à adresser à : ALTERNATIVE, 36, rue des Bourdonnais, 75001 PARIS. Tél. : 233-08-40).



La maquette a été réalisée
par Patrice Aoust
Composition : IM'MEDIA
Tél. : 200.40.50
Montage - Photogravure : BERNARDIN
Tél. : 259.53.26
Achevé d'imprimer
par le Groupement Graphique GAMMA
en novembre 1979
Paris – Tél. : 285.82.00
N° d'impression : 183
Dépôt légal 4e trimestre 1979

Imprimé en France

ISBN N° 2-862227-009-1

« Une équipe de Grenoble livre ici
le fruit de ses expériences,
ses tâtonnements, ses essais, ses tests,
l'accumulation d'un savoir appris sur les chantiers,
les recettes et tuyaux qui serviront à tous ceux
qui veulent mettre la main à la pâte.
Réhabilitation technique
en attendant que nous soient fournis
des exemples architecturaux
utilisant toutes les qualités plastiques
et énergétiques du matériau. »